



TUGAS AKHIR – TL 141584

**ANALISA PENGARUH *MULTIPLE REPAIR WELDING*
PADA MATERIAL PROPERTIES *WELD JOINT*
MATERIAL GS-32 PADA APLIKASI KOMPONEN ALAT
BERAT IDLER PC3000**

**DWIKY OKKA TJAHJANTO
NRP 2713 100 089**

**Dosen Pembimbing:
Ir. Rochman Rochiem M.Sc.,
Tubagus Noor Rohmannudin S.T., M.Sc.,**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



TUGAS AKHIR – TL 141584

**ANALYSIS OF THE EFFECT MULTIPLE REPAIR
WELDING OF MATERIAL PROPERTIES WELD JOINT
GS-32 MATERIAL IN THE APPLICATION OF HEAVY
EQUIPMENT COMPONENT IDLER PC3000**

**DWIKY OKKA TJAHJANTO
NRP 2713 100 089**

Advisor:

**Ir. Rochman Rochiem M.Sc.,
Tubagus Noor Rohmannudin S.T., M.Sc.,**

**DEPARTEMENT MATERIAL AND METALURGY
ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017**

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL 141584

**ANALYSIS OF THE EFFECT MULTIPLE REPAIR
WELDING OF MATERIAL PROPERTIES WELD JOINT
GS-32 MATERIAL IN THE APPLICATION OF HEAVY
EQUIPMENT COMPONENT IDLER PC3000**

**DWIKY OKKA TJAHJANTO
NRP 2713 100 089**

Advisor:

**Ir. Rochman Rochiem M.Sc.,
Tubagus Noor Rohmannudin S.T., M.Sc.,**

**DEPARTEMENT MATERIAL AND METALURGY
ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017**

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

DWIKY OKKA TJHAHJANTO

NRP 2713 100 089

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

Ir. Rochman Rochiem M.Sc.

(Pembimbing I)

Tubagus Noor Rohmannudin S.T., M.Sc.

(Pembimbing II)



SURABAYA

Juli 2017

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**ANALISA PENGARUH *MULTIPLE REPAIR WELDING*
PADA MATERIAL PROPERTIES *WELD JOINT*
MATERIAL GS-32 PADA APLIKASI KOMPONEN
ALAT BERAT IDLER PC3000**

Nama Mahasiswa : Dwiky Okka Tjahjanto
NRP : 2713100089
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Tubagus Noor Rohmammudin
S.T., M.Sc.

Abstrak

Pada penelitian ini dilakukan studi mengenai pengaruh Repair Welding terhadap properties material GS-32. Variasi reparasi yang dilakukan pada material GS-32 dimulai dari tanpa repair, 1 kali repair, 2 kali repair dan 3 kali repair. Pengelasan dan repair dilakukan menggunakan alat pengelasan GMAW dengan parameter las arus 300-350A dan tegangan 30-36V. Pada specimen 1 dilakukan proses pengelasan 1 kali, kemudian specimen 2 dilakukan pengelasan 2 kali dan gouging 1 kali dan specimen 3 dilakukan 3 kali pengelasan dan 2 kali gouging kemudian specimen diuji menggunakan Mikroskop Optik, Alat uji kekerasan Vickers, dan alat uji tarik. Pada hasil pengamatan struktur makro, specimen dengan perlakuan welding repair mengalami perluasan area HAZ. Spesimen 3 memiliki lebar HAZ yang sangat besar dibandingkan specimen 2 dan specimen 1. Didapatkan hasil kekerasan untuk specimen dengan perlakuan repair mengalami peningkatan nilai kekerasan paling banyak pada bagian HAZ. Specimen memiliki nilai kekerasan yang tinggi dibandingkan specimen 2 dan specimen 1. Nilai kekerasan rata-rata specimen 1,2 dan 3 berturut-turut 291 HV, 332,9 HV dan 333,8 HV.

Kata Kunci : HSLA Steel, GMAW , Low Hydrogen Electrode, Welding Repair, Mechanical Properties.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALYSIS OF THE EFFECT MULTIPLE REPAIR
WELDING OF MATERIAL PROPERTIES WELD
JOINT GS-32 MATERIAL IN THE APPLICATION OF
HEAVY EQUIPMENT COMPONENT IDLER PC3000**

Student Name : Dwiky Okka Tjahjanto
NRP : 2713100089
Department : Material Engineering
Advisor : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Tubagus Noor Rohmammudin
S.T., M.Sc.

Abstract

The research was conducted to study about the influence of welding repair due to material properties of GS-32 product. Repair variation of the GS-32 material started from no repair condition, one repair condition, and two repair condition. Welding and gouging was using GMAW welding machine with weld parameter of current by 300-350A and voltage by 30-35V. The condition of specimen 1 is no repair, specimen 2 is repaired one times, and specimen 3 is repaired two times. After that the material testing that used are micro and macro structure using optical microscope, Vickers hardness, and tensile machine. Observation result of macro structure, the specimen with repair weld condition has the wider HAZ area than no repair. Specimen 3 has the widest HAZ after specimen 2 and specimen 1. The result of the hardness test, the specimen with repair weld condition has the higher hardness number than no repair. Specimen 3 has the higher hardness number with average 333,8 HV, specimen 2 with hardness number 332,9 HV and specimen 1 is the lowest hardness number with 291 HV

Keywords: HSLA Steel, GMAW, Low Hydrogen Electrode, Welding Repair, Mechanical Properties.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir serta menyusun laporan tugas akhir dengan judul **“Analisa Pengaruh Multiple Repair Welding Pada Material Properties Weld Joint Material GS-32 Pada Aplikasi Komponen Alat Berat IDLER PC-3000”**. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi mata kuliah tugas akhir yang menjadi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Departemen Teknik Material - Fakultas Teknologi Industri - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik, diantaranya:

1. Kedua orang tua serta kedua adik penulis yang telah memberikan banyak doa, dukungan moriil dan materiil, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi kepada penulis.
2. Bapak Ir. Rochman Rochiem M.Sc., dan Tubagus Noor Rohmannudin S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. dan Ibu Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. yang telah memberikan banyak ilmu dan bimbingan spiritual selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI – ITS.
5. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI-ITS.

6. Ibu Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc. selaku dosen wali yang sangat mengayomi dan memberikan motivasi selama penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material FTI-ITS.
7. Tim Dosen Penguji seminar dan sidang tugas akhir, serta seluruh bapak dan ibu dosen dan karyawan di lingkungan Departemen Teknik Material FTI-ITS yang tak kenal lelah dalam mendidik putra-putri terbaik bangsa ini.
8. Syifa Laili Hapsari Oktavian yang selalu memberikan dukungan serta bantuan moral dan materiil dalam berbagai kondisi yang dialami penulis.
9. Teman-teman Laboratorium Metalurgi yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
10. Teman-teman Lembaga Minat Bakat ITS khususnya Departemen Event yang selalu memberikan dukungan dalam bentuk moral dan materiil dalam menyelesaikan laporan ini.
11. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, Juli 2017
Penulis,

Dwiky Okka Tjahjanto
2713 100 089

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 <i>High Strength Low Alloy</i>	5
2.2 Material GS-32 IDLER PC-3000	8
2.3 Diagram Fase Fe-Fe ₃ C	9
2.4 <i>Gas Metal Arc Welding</i>	11
2.5 Parameter Las	14
2.6 Kegagalan Akibat Hidrogen	15
2.7 <i>Repair Welding Procedure</i>	18
2.8 <i>Gouging</i>	20
2.9 Sifat Mekanik	22
2.10 Inspeksi Tanpa Merusak	23
2.11 Penelitian Sebelumnya	25

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	33
3.2 Bahan Penelitian	34
3.3 Peralatan Penelitian	37
3.4 Variabel Penelitian	41
3.5 Prosedur Penelitian	41

3.6 Pengujian	51
3.7 Rancangan Penelitian	53

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian	55
4.1.1 Pengujian Struktur Makro	55
4.1.2 Pengujian Struktur Mikro	56
4.1.3 Pengujian Kekerasan Vickers	61
4.1.4 Pengujian Tensile	62
4.2 Pembahasan	63

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran dan Perbaikan	70

DAFTAR PUSTAKA xxi

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perbandingan Beberapa Baja Berkekuatan Tinggi	6
Gambar 2.2	Komponen IDLER PC-3000	8
Gambar 2.3	Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C	10
Gambar 2.4	(a) Skema Ilustrasi Proses GMAW	13
Gambar 2.4	(b) Perlengkapan Dasar untuk GMAW	13
Gambar 2.5	Proses Difusi Hidrogen Selama Pengelasan	17
Gambar 2.6	Mekanisme <i>Air Carbon Arc Gouging</i>	20
Gambar 2.7	Hasil Struktur Mikro Specimen Pengelasan tanpa <i>Repair</i>	27
Gambar 2.8	Hasil Struktur Mikro Specimen Pengelasan <i>Repair</i> 1 Kali	28
Gambar 2.9	Hasil Struktur Mikro Specimen Pengelasan <i>Repair</i> 2 Kali	29
Gambar 2.10	Hasil Struktur Mikro Specimen Pengelasan <i>Repair</i> 3 Kali	30
Gambar 2.11	Distribusi Kekerasan Rata – Rata	31
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	34
Gambar 3.2	Cetakan Bentuk Q-Block dan Proses Pengecoran Baja GS-32 Bentuk Q-Block ..	35
Gambar 3.3	Welding Wire KISWEL K-81TB2/AWS A5.29	36
Gambar 3.4	Mesin Las <i>Gas Metal Arc Welding</i>	37
Gambar 3.5	Mesin Uji Tarik	38
Gambar 3.6	Alat Uji kekerasan Vickers	39
Gambar 3.7	Alat Uji ultrasonic NDT	40
Gambar 3.8	Mikroskop Optik	41
Gambar 3.9	Cetakan Pasir Q-Block untuk Material GS-32	42
Gambar 3.10	Proses <i>Tapping Molten Metal</i>	43
Gambar 3.11	Mesin <i>Heat Treatment Normalising</i> dan <i>Quenching</i>	44

Gambar 3.12	Proses Pemotongan Q-block GS-32 Menggunakan Gergaji	46
Gambar 3.13	Proses <i>Chamfering</i> dengan Sudut 35°	47
Gambar 3.14	Proses Gerinda Pembuatan <i>Root Face</i>	47
Gambar 3.15	Bentuk Groove Specimen Lasan	48
Gambar 3.16	Hasil Lasan Layer Pertama	49
Gambar 3.17	Proses Pengerjaan Las	49
Gambar 3.18	Nilai Heat Input pada Tiap Proses Pengelasan Rata – Rata	50
Gambar 4.1	Hasil Pengujian Struktur Makro Spesimen 1	55
Gambar 4.2	Hasil Pengujian Struktur Makro Spesimen 2	55
Gambar 4.3	Hasil Pengujian Struktur Makro Spesimen 3	56
Gambar 4.4	Struktur Mikro Spesimen dengan Pengelasan 1 Kali pada Bagian Weld Metal Perbesaran 1500X	56
Gambar 4.5	Struktur Mikro Spesimen dengan Pengelasan 1 Kali pada Bagian HAZ Perbesaran 1500X	57
Gambar 4.6	Struktur Mikro Spesimen dengan Pengelasan 1 Kali pada Bagian Base Metal Perbesaran 1500X	57
Gambar 4.7	Struktur Mikro Spesimen dengan Pengelasan 2 kali pada Bagian Weld Metal Perbesaran 1500X	58
Gambar 4.8	Struktur Mikro Spesimen dengan Pengelasan 2 Kali pada Bagian HAZ Perbesaran 1500X	58
Gambar 4.9	Struktur Mikro Spesimen dengan Pengelasan 2 Kali pada Bagian Base Metal Perbesaran 1500X	59

Gambar 4.10	Struktur Mikro Spesimen dengan Pengelasan 3 Kali pada Bagian Weld Metal Perbesaran 1500X	59
Gambar 4.11	Struktur Mikro Spesimen dengan Pengelasan 3 Kali pada Bagian HAZ Perbesaran 1500X	60
Gambar 4.12	Struktur Mikro Spesimen dengan Pengelasan 3 Kali pada Bagian Base Metal Perbesaran 1500X	60
Gambar 4.13	Data Distribusi Rata-Rata Kekerasan pada Bagian Weld Metal, HAZ, dan Base Metal specimen 1	61
Gambar 4.14	Data Distribusi Rata-Rata Kekerasan pada Bagian Weld Metal, HAZ, dan Base Metal Spesimen 2	61
Gambar 4.15	Data Distribusi Rata-Rata Kekerasan pada Bagian Weld Metal, HAZ, dan Base Metal Spesimen 3	62
Gambar 4.16	Nilai Kekerasan Rata-Rata dari Specimen Pengelasan	63
Gambar 4.17	Grafik Perbandingan Beban-Pertambahan Panjang Hasil uji Tarik	62

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tabel Sifat Mekanik Baja HSLA	7
Tabel 2.2	Komposisi Kimia Material GS-32	9
Tabel 3.1	Parameter Las Penelitian	44
Tabel 3.2	Perhitungan Heat Input pada Setiap Layer ...	50
Tabel 3.3	Rancangan Penelitian	53
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Tarik	62
Tabel 4.2	_Data Material Reference.....	63

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan logam di industri semakin beragam. Munculnya variasi logam-logam campuran baru yang digunakan pada aplikasi struktur rangka bangunan, rangka kendaraan, atau bahan dasar alat tambang menjadikan tantangan baru bagi manufaktur logam. Pasalnya penanganan suatu logam berbeda-beda satu dengan yang lainnya. Pengelasan dua logam berbeda (Dissimilar Welding) tentunya menjadikan proses pengelasan berbeda dengan pengelasan logam sejenis. Variasi dari logam yang berbeda dalam setiap dissimilar welding membutuhkan proses yang berbeda. Hal baru tentunya akan mengakibatkan kegagalan dikarenakan belum ada standar yang jelas untuk masalah tersebut, maka dari itu teknologi dalam bidang pengelasan perlu ditingkatkan dengan menciptakan *Welding Procedure Specification* (WPS) untuk semua proses yang menyangkut segala jenis material sehingga tercipta WPS yang sesuai dan lengkap untuk segala jenis material. Maka dari itu penelitian terhadap pengelasan perlu dilakukan untuk mencapai tujuan tersebut.

Pada PT. Komatsu Indonesia jumlah produksi untuk memenuhi target pasar alat besar di Indonesia cukup besar dengan presentase pasar mencapai 34% setelah hitachi yang memiliki presentase 20% di Indonesia. Proses produksi satu alat berat Komatsu dikerjakan oleh beberapa plant diantaranya adalah Foundri, Fabrikasi dan Assembly. Setiap plant memiliki kewajiban yang berbeda-beda namun saling berkaitan satu sama lain dalam mencapai target perusahaan. Kerusakan atau masalah yang timbul dapat mengakibatkan merosotnya jumlah produksi sehingga target pasar tidak terpenuhi dengan maksimal sehingga mengakibatkan kerugian bagi perusahaan. Untuk menanggulangi kerugian bagi perusahaan, proses yang umum dilakukan dan pada material yang sering digunakan dan jumlah target produksinya besar kemudian dianalisa. Pada plant Foundri Material GS-32 untuk komponen



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

Idler PC3000 mencapai angka produksi 36 unit per tahun yang mencapai 22,11% dari total produksi material GS-32 yang mencapai berat 101,95 ton produksi. Melalui proses pengecoran pada plant Foundri dan dilanjutkan pengelasan pada plant Fabrikasi, memungkinkan terjadi kegagalan atau masalah pada alur produksi dari komponen tersebut. Material GS-32 memiliki nilai carbon equivalent yang tinggi dan termasuk pada casting steel High strength low alloy sehingga material ini termasuk dalam material dengan weldability yang rendah, artinya apabila material ini dilas dapat terjadi kerusakan pada saat proses atau setelah proses pengelasan. Penanggulangan yang tepat untuk masalah pengelasan material tersebut menjadi sorotan utama pada penelitian ini, sebab perusahaan berpedoman pada produk dengan kualitas baik dan harga yang kompetitif sehingga menekan biaya produksi masih menjadi prioritas produksi. Oleh sebab itu penelitian ini dilakukan untuk menganalisis metode perbaikan yang dilakukan pada komponen dan pengaruhnya pada kualitas produk.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana pengaruh dari *Multiple Repair Welding* terhadap *mechanical properties* produk?
2. Kegagalan apa saja yang mungkin diakibatkan *Multiple Repair Welding* pada produk?
3. Bagaimana metode yang tepat digunakan untuk melakukan *Multiple Repair Welding* terhadap produk?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Dilakukan pada specimen yang memiliki jenis yang sama dengan produk, karena produk asli tidak dapat digunakan pengujian DT.
2. Pengaruh lingkungan pengelasan diabaikan.



1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Menganalisa pengaruh dari *Multiple Repair Welding* terhadap kekuatan produk
2. Menganalisa Kegagalan yang diakibatkan *Multiple Repair Welding* pada produk
3. Menganalisa metode yang tepat digunakan untuk melakukan *Multiple Repair Welding* terhadap produk

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *multiple repair welding* terhadap material sehingga diperoleh data yang cukup untuk menemukan solusi untuk masalah-masalah yang terjadi akibat *Multiple Repair Welding* pada jenis proses dan jenis material yang sejenis dan juga hasil penelitian ini dapat digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 High Strength Low Alloy

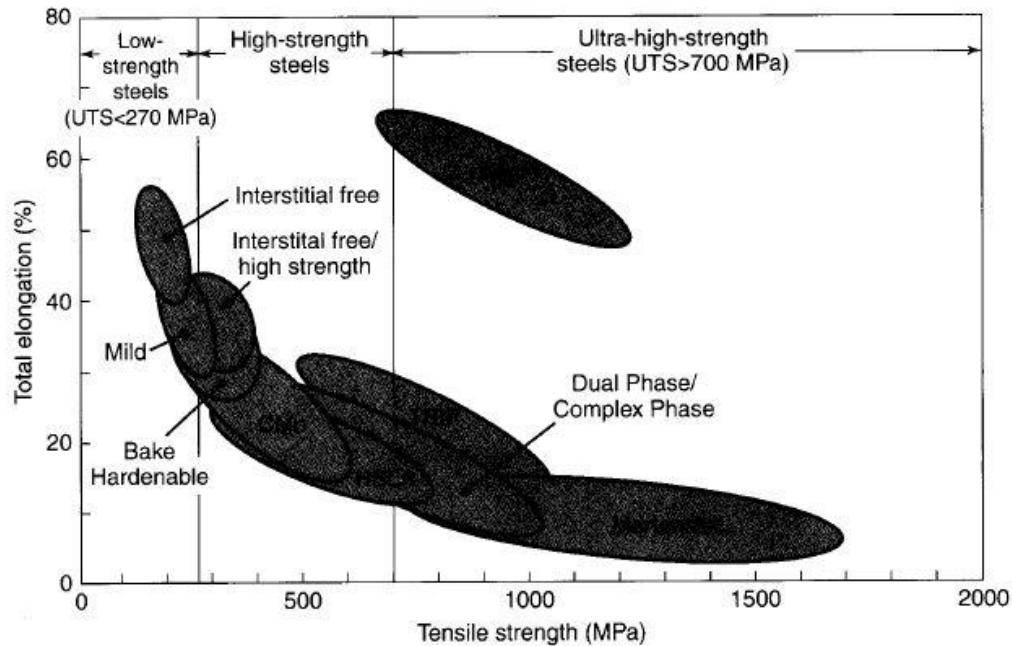
Baja paduan rendah berkekuatan tinggi (*High Strength Low Alloy / HSLA*) untuk pertama kalinya dibuat pada tahun 1930. Baja HSLA dibuat dalam bentuk lembaran dengan pemaduan skala mikro dengan *hot rolling* terkontrol. Baja HSLA memiliki kadar karbon rendah dan mikrostrukturnya bercirikan ferit berbutir halus pada satu fasa dan fasa kedua merupakan austenite dan martensit yang keras. Baja ini memiliki kemampuan menyerap energi dan kekuatannya yang tinggi jika dibandingkan dengan baja biasa. Namun, keuletan, mampu bentuk, serta kemampuan las dari baja ini jauh lebih rendah dibanding baja paduan pada umumnya (Kalpakjian, 2009).

Baja HSLA tidak dapat dikategorikan sebagai baja paduan secara umum, karena baja HSLA dirancang untuk memenuhi spesifikasi sifat material tertentu, bukan dalam komposisi kimianya. Komposisi kimia baja HSLA tertentu dapat berbeda untuk setiap ketebalan produk yang berbeda untuk memenuhi kebutuhan sifat mekaniknya. Baja HSLA umumnya memiliki kadar karbon 0,05% - 0,35% C untuk meningkatkan sifat formabilitas dan mampu las yang baik, dan umumnya memiliki kadar Mn hingga 2,0%. Sejumlah kecil krom, nikel, molibden, tembaga, nitrogen, vanadium, niobium, titanium, dan zirkonium digunakan dalam berbagai variasi. (ASM International, 2001)

Baja HSLA bentuk lembaran umumnya digunakan untuk komponen badan otomotif, dan peralatan transportasi lainnya (untuk mengurangi berat dan konsumsi bahan bakar) dan juga di pertambangan, pertanian, dan sektor industri lainnya. Pelat baja HSLA digunakan dalam konstruksi kapal, jembatan, konstruksi bangunan, dan untuk bentuk tertentu seperti *I-beam*, sambungan, dan sudut pada bentuk bangunan tertentu. Sifat mekanik dari baja HSLA ditampilkan dalam gambar 2.1 dan tabel 2.1.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



Gambar 2.1 Perbandingan beberapa baja berkekuatan tinggi (Kalpakjian *et al.* ,2009)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Tabel 2.1 Tabel Sifat Mekanik Baja HSLA (Kalpakjian *et al.* ,2009)

Steel	Minimum Ultimate Strength (Mpa)	Minimum Yield Strength (Mpa)	Elongation in 50mm(%)	Strain-hardening exponent, n
BH 210/340	340	210	36	0,18
BH 260/370	370	260	32	0,13
HSLA 350/450	450	350	25	0,14
DP 350/600	600	350	27	0,14
DP 500/800	800	500	17	0,14
DP 700/1000	1000	700	15	0,13
TRIP 450/800	800	450	29	0,24
TRIP 400/600	600	400	30	0,23
CP 700/800	800	700	12	0,13
MART 950/1200	1200	950	6	0,07
MART 1250/1520	1520	1250	5	0,065

Baja HSLA umumnya dilas dalam kondisi *as-rolled* atau dalam kondisi *normalized* dan kemampuan las baja HSLA mirip seperti *mild steel*. Karena faktor kekuatan menjadi faktor utama dalam menggunakan HSLA, maka *filler metal* yang digunakan untuk pengelasan HSLA dipilih berdasarkan kekuatan dan komposisinya. Semua jenis proses pengelasan dapat digunakan, tetapi yang menggunakan elektroda *consumeable* rendah hidrogen adalah yang paling disarankan.

Temperatur yang diperlukan untuk *pre-heat* dan *interpass* relatif rendah. Kebanyakan baja paduan membutuhkan 10°C untuk pelat 25 mm (1 inci), 50°C untuk pelat 50 mm (2 inci), dan 100°C



untuk pelat 75mm (3 inci). Untuk baja A572 (*grade 60* dan *65*) dan A633 (*grade E*), temperatur yang diperlukan 50°C lebih tinggi. Nilai temperatur untuk *preheat* dan *interpass* semakin meningkat dengan naiknya kadar karbon, kadar paduan dan tebal pelat. (Kou, 2003)

2.2 Material GS-32 IDLER PC-3000

Material GS-32 termasuk tipe baja karbon rendah dengan alloying element rendah. Material ini biasanya digunakan pada komponen-komponen yang membutuhkan kekuatan tinggi dengan metode produksi pengecoran dilanjut dengan proses heat treatment normalizing kemudian dilanjut dengan quench dan temepering. Dengan kekerasan mencapai 280 HV dan ultimate tensile strength mencapai 900 N/mm² material ini termasuk material dengan ketangguhan yang tinggi. Sesuai dengan properties material ini sering digunakan pada komponen alat berat yang banyak terkena gesekan dan tegangan seperti pada bagian Idler dan Bodden Plate pada under carriage alat berat seperti bulldozer dan excavator dengan model seperti pada gambar 2.2.



Gambar. 2.2 komponen IDLER PC-3000 (Dokumentari
PT.Komatsu Indonesia)

Pada PT.Komatsu Indonesia plant foundry untuk produksi material GS-32 mencapai 461,1 ton per tahun dan sekitar 35% total



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

produksi GS-32 digunakan untuk pembuatan komponen Idler PC-3000. Menggunakan standar yang sudah ditetapkan sehingga komposisi kimia dan properties material tersebut terjaga kualitasnya. Berikut merupakan data komposisi kimia dari material GS-32

Tabel 2.2 komposisi kimia material GS-32

Material	Komposisi Kimia(%)								Carbon Equiv.
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	
GS-32	0,31	0,30	0,60	< 0,015	< 0,010	1,30	0,90	0,30	0,58
	-	-	-			-	-	-	
	0,33	0,60	1,00			1,60	1,20	0,60	
target	0,33	0,4	0,8	0,01	0,008	1,45	1,05	0,45	

pada dasarnya material GS-32 merupakan material yang memiliki kemampuan las yang buruk karena memiliki nilai carbon equivalent diatas 0,45% seperti pada Tabel 2.2. Artinya, material ini sebelum dilas membutuhkan dipanaskan terlebih dahulu/pre-heat. Pre-heat dilakukan agar tidak terjadi retak akibat pendinginan cepat setelah proses pengelasan. Dengan nilai CE yang tinggi maka material akan lebih keras, maka dari itu untuk mencegah material yang getas dilakukan proses normalizing, proses quench dan tempering dilakukan untuk mendapatkan standar properties yang dibutuhkan untuk aplikasi di lapangan.

2.3 Diagram Fase Fe-Fe₃C

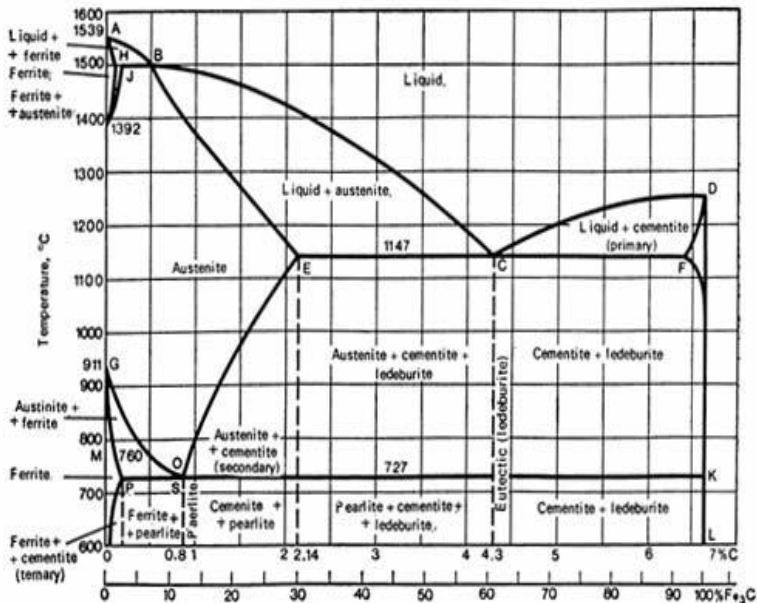
Diagram merupakan suatu diagram yang menggambarkan hubungan antara fase, komposisi, dan temperature, pada kondisi keseimbangan (Ekuilibrium, yaitu kondisi dimana tidak terjadi perubahan yang tergantung pada waktu).

Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa intersisi, eutectoid dan eutectic, atau mungkin juga karbon membentuk grafit.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

Secara garis besar paduan besi-karbon dapat dibedakan menjadi dua yaitu baja dan besi tuang (cast iron). Dari diagram gambar 2.3 tampak bahwa baja tidak mengandung struktur eutektik, karenanya



Gambar 2.3 Diagram Fasa Fe-Fe₃C (Avner, 1987)

dapat dimengerti mengapa sifatnya berbeda sekali dengan besi tuang. Dalam pembahasan kali ini akan lebih banyak membahas tentang baja hipoeutektoid karena material GS-32 termasuk kedalam klasifikasi baja hipoeutektoid dengan kadar karbon 0,33%. Yang termasuk kedalam baja hipoeutektoid adalah baja dengan kadar karbon dibawah 0,8%.

Pada baja hipoeutektoid, semakin tinggi kadar karbon dalam baja makin banyak perlitnya, makin sedikit ferritnya. Perlit adalah struktur yang terdiri dari lamel-lamel ferrit dan sementit



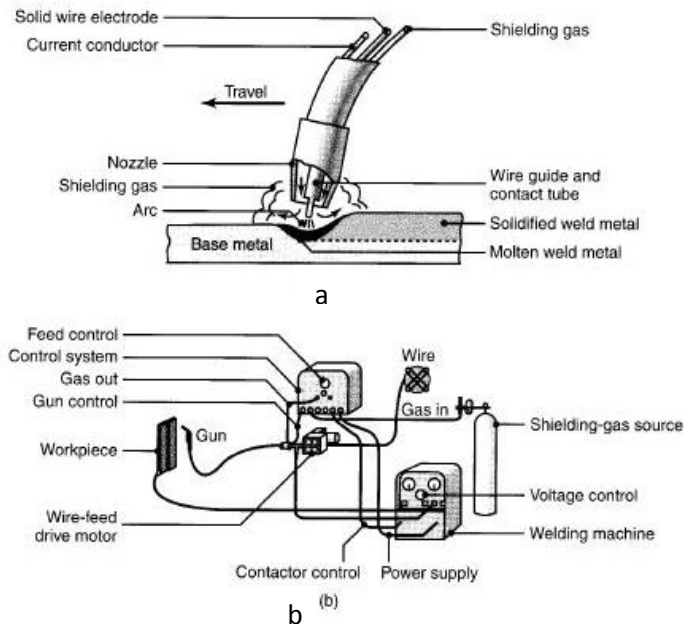
berselang-seling, dimana ferrit adalah suatu larutan padat dengan kelarutan yang sangat kecil, sehingga dia sangat lunak dan ulet, sementara sementit adalah suatu senyawa, karbida yang sangat keras dan getas, maka perlit akan menjadilebih keras dan kuat daripada ferrit dan juga lebih getas. Karena itu makin tinggi kadar karbonnya maka ia akan menjadi makin keras dan kuat tetapi juga menjadi makin getas. (Suherman, 1999)

2.4 Gas Metal Arc Welding

Pada *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), yang pertama kali diciptakan tahun 1950an, area pengelasan dilindungi oleh gas inert yang efektif seperti Argon, Helium dan Karbon dioksida. Kawat elektroda akan secara otomatis masuk melalui selang menuju *weld pool* oleh mesin otomatis seperti pada skema ilustrasi GMAW gambar 2.4. Selain menggunakan gas inert sebagai gas pelindung, biasanya terdapat deoksidator pada logam las tersebut untuk mencegah terjadinya oksidasi pada hasil lasan. Dimana pengelasan beberapa layer dapat dibuat pada sambungan.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



Gambar 2.4 (a) Skema Ilustrasi proses GMAW dan (b)
Perlengkapan dasar untuk GMAW
(Kalpakjian, 2009)

terdapat 3 metode untuk memasukkan kawat las ke dalam kawah lasan, antara lain:

1. *Spray Transfer*, Tetesan kecil dari logam leleh masuk ke area pengelasan dengan laju ratusan tetes per jam, tetesan ini bebas *spatter* dan sangat stabil. Pengelasan arus searah yang tinggi dan voltase yang tinggi dan elektroda berdiameter besar menggunakan gas Argon atau campuran gas dengan dominan argon sebagai berikut. Arus rata-rata yang diperlukan dapat dikurangi dengan menggunakan *Pulse Arc*. Proses ini dapat digunakan pada semua posisi pengelasan.



2. *Transfer Globular*, metode ini menggunakan gas kaya karbon dioksida, dan *globule* didorong oleh gaya dari transfer logam melalui busur elektrik, menghasilkan sejumlah *Spatter* yang cukup banyak. Pengelasan ini menggunakan arus listrik yang tinggi, yang memungkinkan untuk menghasilkan penetrasi yang lebih dalam dan kecepatan las yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode *spray transfer*. Bagian-bagian yang berat umumnya disambung dengan metode ini.
3. *Short Circuiting*, logam ditransfer melalui dalam *individual droplet* (sekitar 50 per detik) saat ujung elektroda menyentuh benda kerja dan menghasilkan arus pendek. Metode ini menggunakan arus dan tegangan rendah dan ditambahkan gas kaya CO₂ serta elektroda berdiameter rendah. Energi yang diperlukan sekitar 2 kW.

Temperatur yang dihasilkan oleh GMAW relatif rendah. Karena itu, metode ini hanya cocok untuk pelat tipis dan untuk area las tidak lebih dari 6 mm. lebih dari itu, *incomplete fusion* dapat terjadi (Kalpakjian, 2009.).

2.5 Parameter Las

Beberapa hal yang perlu diperhatikan saat akan mengelas suatu material diantaranya adalah arus (I), Tegangan (V), *Shielding Gas*, *Travel Speed*, Polaritas. Hal tersebut menentukan kecocokan antara material yang akan dilas dengan peralatan yang tersedia di lapangan. Parameter tersebut akan mempengaruhi kualitas dari hasil lasan yang kemudian akan berdampak pada hasil lasan, kekuatan lasan, dan kecacatan yang terbentuk. Pengaruh dari parameter tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

a) Arus

Arus yang digunakan pada pengelasan akan mempengaruhi jenis transfer yang terjadi pada proses melelehnya elektroda. Apabila arus yang digunakan tinggi



maka akan terjadi spray transfer dengan weld deposit yang tinggi.

Arus juga akan mempengaruhi panas yang terjadi pada lasan. Semakin tinggi arus yang digunakan maka akan semakin banyak panas yang terjadi pada proses sehingga pada bagian HAZ akan mengalami pemanasan tinggi dengan pendinginan yang cepat. Hal ini disebabkan karena Arus akan mempengaruhi besar Heat input pada proses pengelasan

b) Tegangan

Energi listrik pada proses las busur diukur dalam tegangan (volt), tegangan pada proses pengelasan tergantung pada panjang busur dari material, dan panjang busur tergantung pada ukuran dan jenis elektroda, jika elektroda yang dipakai jenis salutan rutil berdasarkan erfaring secara umum adalah satu kali diameter inti elektroda, dan elektroda jenis salutan selulose, low hydrogen kurang dari satu kali diameter inti elektroda. Tegangan las sangat berpengaruh dengan jenis trafo las, kabel tenaga, kabel elektroda dan kabel massa.

c) *Shielding Gas*

Gas pelindung pada proses pengelasan akan mempengaruhi bentuk penetrasi dari proses pengelasan. Umumnya gas pelindung yang digunakan adalah CO₂, Argon atau campuran keduanya. Gas Argon pada proses pengelasan GMAW akan memberikan dampak penetrasi yang dalam sedangkan gas CO₂ tidak memberikan dampak penetrasi yang dalam seperti pada gas Argon. Namun biasanya pada proses pengelasan dengan alat las GMAW menggunakan gas pelindung dari campuran gas Argon dan CO₂.

d) *Travel Speed*

jenis salutan elektroda, dimensi ukuran elektroda, material yang dilas, geometri kampuh las dan prosedur dan kualifikasi



las., Kecepatan pengelasan berbanding lurus dengan besar arus. Kecepatan pengelasan memerlukan arus yang besar. Semakin cepat langkah dalam pengelasan semakin kecil panas yang ditimbulkan sehingga perubahan bentuk material dapat dihindari pada area HAZ. Hasil pengelasan terbaik akan didapatkan dengan cara mengatur panjang busur nyala, mengatur kecepatan pengelasan dan pemakanan elektroda (feeding) secara konstan sesuai dengan kecepatan lebur elektroda. (AWS Welding Handbook, 2011)

2.6 Kegagalan akibat Hidrogen

Atom hidrogen merupakan atom terkecil yang ada pada tabel periodik, memiliki kemampuan untuk berdifusi pada *lattice* logam dengan mudah.

Adanya atom hidrogen pada material seperti baja, baja tahan karat, serta baja paduan aluminium, titanium, magnesium, dan zirkonium dapat menimbulkan retak prematur serta mengurangi keuletan dan ketangguhan. Mekanisme terjadinya keretakan dapat beragam, tergantung dari material, lingkungan, kondisi beban, temperatur, dsb. Elayapumeral (2015) menjelaskan penggetasan hidrogen merupakan jenis cacat las yang unik dibanding yang lainnya, keretakan ini baru dapat terbentuk hingga beberapa hari, bahkan beberapa bulan. Meskipun umumnya dapat muncul pada berbagai bagian dari lasan, keretakan hidrogen lebih sering muncul pada area berbutir kasar pada bagian HAZ disamping hasil lasan. (Elayapumeral *et.al.*, 2015)

Terdapat 4 faktor yang diperlukan untuk memicu terjadinya keretakan hidrogen, antara lain adalah hidrogen pada logam lasan, tegangan tinggi, mikrostruktur yang rentan (Martensit), dan temperatur yang relatif rendah (-100°C hingga 200°C). (Kou, 2003)

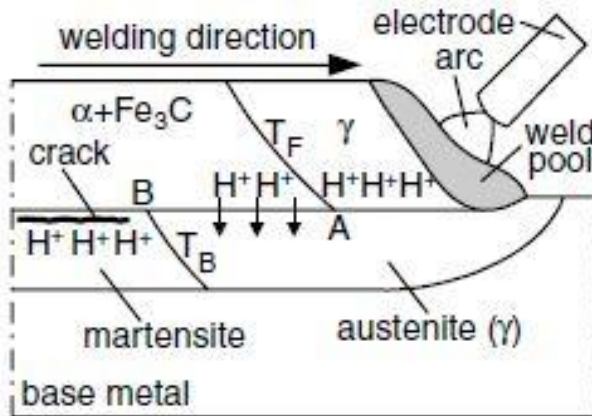
pengkategorian keretakan akibat hidrogen menjadi keretakan hidrogen yang terjadi pada temperatur rendah/ lingkungan lembab:



- *Stepwise Cracking* atau *Hydrogen Induced Cracking (HIC)*
- *Hydrogen Embrittlement* (Penggetasan Hidrogen)

Elayapumeral (2015) menjelaskan jika atom hidrogen membentuk molekul hidrogen pada pori, retakan dan inklusi yang kemudian menghasilkan tekanan dalam. Ketika mencapai titik kritisnya, retak mikro akan terbentuk dan bertumbuh. Semakin tinggi kekuatan dan kekerasan dari suatu paduan, maka semakin rentan baja tersebut mengalami keretakan hidrogen. Baja yang di las lebih rentan akan *Hydrogen Embrittlement* atau *Stress Corrosion Cracking* karena proses lasan menyimpan tegangan sisa serta menghasilkan kekerasan yang tinggi.

Hidrogen dapat masuk dari kelembaban pada elektroda serta kelembaban ruangan, adanya oli dan pengotor pada bagian sambungan lasan (Kou, 2003).



Gambar 2.5 Proses Difusi Hidrogen Selama Pengelasan
(Sindo Kou, 2003)

Pada pengelasan, logam lasan berubah dari fasa austenite γ menjadi ferrit + perlit, hidrogen bergerak dari akibat kelarutan hidrogen pada ferrit lebih rendah daripada kelarutan hidrogen dalam austenite. Logam lasan umumnya memiliki kadar karbon



yang lebih rendah dibandingkan dengan logam induknya. Logam pada lasan cenderung mengalami perubahan yang lebih cepat dari austenit menjadi ferrit + perlit sebelum austenit pada HAZ berubah menjadi martensit. Adanya penumpukan hidrogen yang tidak larut pada logam lasan berdifusi menuju austenit di HAZ yang dekat dengan garis fusi seperti pada gambar 2.5. Koefisien difusi hidrogen pada material ferritik lebih tinggi dibandingkan pada material austenitik. Rendahnya koefisien difusi hidrogen pada material austenitik menahan hidrogen berdifusi dari HAZ menuju logam induk. Kombinasi dari martensit dan hidrogen ini yang menyebabkan terjadinya HIC. (Kou, 2003)

Beberapa hal dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya HIC dan Penggetasan Hidrogen, antara lain:

- Mengurangi *Tensile Stress*
- Memberikan temperatur *temper* yang sesuai pada baja untuk mengurangi efek buruk akibat terbentuknya martensit
- Hindari masuknya hidrogen pada baja selama proses fabrikasi
- Jika tidak memungkinkan, komponen di *bake* untuk menghilangkan hidrogen.

Umumnya yang sering terjadi HIC adalah material yang memiliki nilai *Carbon Equivalent* yang tinggi (Kou, 2003).

2.7 Repair Welding Procedures

Beberapa metode perbaikan pada pengelasan bervariasi bergantung pada logam yang dilas, proses pengelasan yang digunakan, elektroda atau filler yang digunakan dan lain sebagainya. Berdasarkan faktor-faktor di atas sering ditemukan kegagalan pengelasan akibat kesalahan penggunaan atau pengerjaan yang kurang standar, sehingga ketika sebuah produk mengalami kecacatan akibat proses pengelasan berupa crack, deformasi, *incomplete fusion* dan lain sebagainya, dilakukan beberapa analisa. Pertanyaan-pertanyaan disiapkan untuk menentukan prosedur yang tepat untuk menanggulangi kecacatan



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

yang terjadi. Menurut AWS Welding Handbook, berikut adalah pertanyaan yang harus dijawab sebelum menentukan apakah perbaikan boleh/perlu dilakukan atau bagaimana perbaikan akan dilakukan:

1. Apakah *welder* berkualifikasi dalam melakukan pengelasan?
2. Apa sebab pentingnya melakukan perbaikan? (apakah dikarenakan cacat manufaktur, apakah proses salah, apakah material yang terlibat memiliki properties yang buruk sebelum proses.)
3. Apakah aman untuk mengelas material tersebut?
4. Apa aturan atau hukum yang berlaku? (apakah perbaikan diperbolehkan oleh aturan pemerintahan?)
5. Apa metal yang digunakan?
6. Apa lingkup yang diperbaiki?
7. Apakah metodeperbaikan akan menyelesaikan masalah pengelasan sebelumnya atau bahkan akan mengakibatkan kecelakaan serius?
8. Mana yang lebih baik, memperbaiki atau mengganti part?

Hal pertama yang harus diperhatikan sebelum melakukan reparasi produk pengelasan adalah membersihkan area kerja dari pengotor, cat, debu, atau zat pengotor lainnya. Penanggulangan special digunakan ketika apabila ada pengotor yang bersifat mudahterbakar atau lingkungan pengelasan mengandung zat yang mudah terbakar (berpacu pada ANSI Z49.1 atau Safe Practice Section.) Pengondisian Hidrogen perlu dilakuakn karena mempengaruhi properties material setelah dilas. Ketika *molten metal* mulai mendignin dan menjadi solid, hydrogen dapat terperangkap di dalam metal yang sudah tersolidifikasi. Hal ini dapat mengakibatkan tingginya *internalweld stress* yang dapat mengakibatkan keretakan yang lebih besar. Saat hasil lasan terdapat banyak hydrogen terperangkap di dalamnya, maka perlu



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

dilakukan perbaikan menggunakan air carbon arc gouging, direkomendasikan 1,6 mm. setelah melakukan gouging, permukaan kemudian dibersihkan kembali menggunakan proses mekanik (Grinding atau machining) untuk menghilangkan permukaan yang terkabrasi sebelum pengelasan kembali. Beberapa cara yang dapat digunakan untuk membersihkan pengotor pada permukaan dapat dilakukan pembersihan menggunakan *steam* atau *solvent*, dan membakar minyak dan *gresase* menggunakan *oxyfuel torch* atau bahkan menggunakan furnace. Proses pemanasan untuk membersihkan permukaan ini menggunakan temperatur yang merata disuruh permukaan, tidak boleh terpusat di beberapa daerah dalam jangka waktu yang lama. Proses pembakaran menggunakan busur api dapat dilakukan bolak balik secara menyeluruh ke seluruh area kerja. Preparasi yang perlu dilakukan dari cacat las bergantung pada besar cacat, ketebalan benda kerja, atau faktor lain yang mungkin dibutuhkan secara khusus pada benda kerja. (AWS Welding Handbook, 2011)

2.8 Gouging

Gouging termal adalah bagian penting dalam fabrikasi pengelasan. Digunakan untuk penyingkiran cepat logam yang tidak diinginkan, bahan dipanaskan setempat dan logam cair disingkirkan - biasanya dengan meniupnya. Proses arc atau gas oxyfuel normal dapat digunakan untuk melebur dan menyingkirkan logam dengan cepat. (Kalpakjian, 2009)

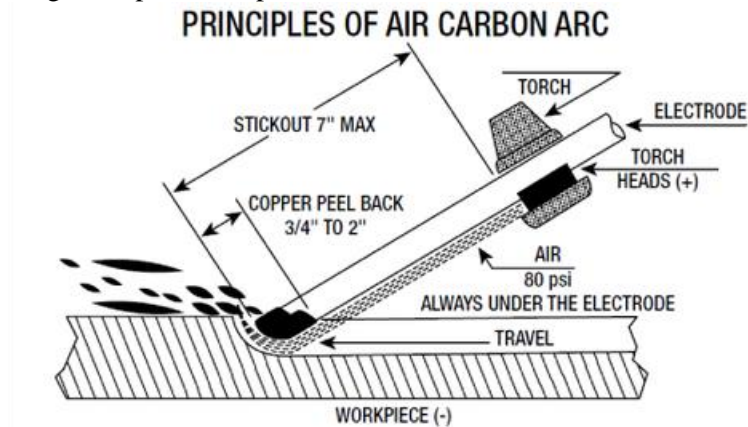
a. Pengertian Carbon Arc Gouging

Mekanisme proses carbon arc gouging adalah sebagai berikut, busur listrik dihasilkan antara ujung carbon gouging dengan benda kerja (metal), sehingga benda kerja mencair dan pada saat yang sama udara dihembuskan dengan kecepatan yang tinggi untuk membuang logam cair tersebut dan menghasilkan groove atau alur yang bersih. Proses ini sangat mudah sama halnya



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

dengan proses pada manual metal arc welding.



Gambar 2.6 Mekanisme Air Carbon Arc Gouging

b. Aplikasi

Proses gouging tidak tergantung oksidasi, hal ini dapat diterapkan untuk berbagai jenis logam, arus DC (elektroda positif) biasanya digunakan untuk baja dan stainless steel, sedangkan arus AC biasanya digunakan untuk besi cor (casting), tembaga dan paduan nikel. Aplikasi yang umum adalah untuk proses back gouging, welding repair antara lain menghilangkan cacat las pada permukaan maupun cacat las bagian dalam dan juga untuk menghilangkan kelebihan weld metal serta digunakan untuk persiapan bevel atau kampuh las.

c. Elektroda

Elektroda terbuat dari grafit (carbon) yang dilapisi tembaga untuk menghindari erosi karbon. Pemilihan jenis dan dimensi carbon gouging berdasarkan kedalaman serta lebar alur yang dibutuhkan dan juga bentuk benda.



d. Power Source

Menggunakan power source DC dengan elektroda pada kutub positif adalah proses yang paling ideal. Power source AC dengan arus yang konstan juga dapat digunakan dengan menggunakan elektroda spesial. Power source yang digunakan harus memiliki karakteristik output arus yang konstan, jika tidak pada saat busur terjadi akan menghasilkan ledakan yang cukup tinggi untuk menghancurkan bagian ujung elektroda. Besarnya tegangan busur bisa sangat tinggi sekitar 50 Volt.

e. Supply Udara

Gouging torch biasanya dioperasikan bersamaan dengan udara yang bertekanan, tekanan supply udara bisa mencapai 45 – 100 Psi untuk memastikan udara bisa mendorong logam yang mencair pada saat proses gouging dan menghasilkan groove atau alur yang bersih.

(kalpakjian,2009)

2.9 Sifat Mekanik

Pengujian mekanik bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dari suatu material secara terukur/kualitatif. Melihat dari kekuatan dan keuletan dari suatu material diperlukan uji tarik karena dari pengujian ini didapatkan nilai ultimate tensile strength sebagai acuan pada nilai kekuatan material. Untuk mengetahui kekerasan, ketahanan abrasi dan kekuatan permukaan dilakukan uji kekerasan. Dalam penelitian dilakukan beberapa pengujian mekanik diantaranya uji tarik dan uji kekerasan

a. Uji Tarik

Uji Tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu. Uji tarik mungkin adalah cara pengujian bahan yang paling mendasar. Uji tarik rekayasa banyak dilakukan untuk



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan (Dieter, 1987). Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji. Kurva tegangan regangan rekayasa diperoleh dari pengukuran perpanjangan benda uji. Pengujian ini sangat sederhana, tidak mahal dan sudah mengalami standarisasi di seluruh dunia, misalnya di Amerika dengan ASTM E8 dan Jepang dengan JIS 2241. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*). (Dieter, 1987)

b. Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan vickers menggunakan indentor piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujursangkar. Besar sudut antar permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136°. Nilai ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan brinell (Dieter, 1987). Angka kekerasan vickers didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. Karena jejak yang dibuat dengan penekan piramida serupa secara geometris dan tidak terdapat persoalan mengenai ukurannya, maka VHN tidak tergantung kepada beban. Pada umumnya hal ini dipenuhi, kecuali pada beban yang sangat ringan. Beban yang biasanya digunakan pada uji vickers berkisar antara 1 hingga 120 kg.



tergantung pada kekerasan logam yang akan diuji. Hal-hal yang menghalangi keuntungan pemakaian metode vickers adalah: (1) Uji ini tidak dapat digunakan untuk pengujian rutin karena pengujian ini sangat lamban, (2) Memerlukan persiapan permukaan benda uji yang hati-hati, dan (3) Terdapat pengaruh kesalahan manusia yang besar pada penentuan panjang diagonal. (Dieter, 1987)

2.10 Inspeksi Tidak Merusak

Pengujian tidak merusak (*Nondestructive testing* (NDT)) dilakukan dengan perlakuan yang sedemikian rupa sehingga integritas produk dan bentuk permukaannya tidak ada yang berubah. Teknik NDT secara umum membutuhkan kemampuan operator yang baik, dan menginterpretasikan hasil pengujian cukup sulit karena observasinya dapat bersifat subjektif. Tetapi penggunaan komputer dan pengembangan lainnya dapat mengurangi kesalahan (Shull, 2002).

Beberapa pengujian berikut merupakan dasar dari NDT yang sering digunakan, antara lain:

a) *Magnetic Particle Inspection* :

Pengujian ini meliputi penggunaan serbuk ferromagnetik halus pada permukaan benda uji. Serbuk ini bisa dalam bentuk kering maupun dalam media cair pembawanya, seperti air atau oli. Ketika benda uji dimagnetisasi oleh medan magnet, diskontinuitas di permukaan akan menyebabkan partikel berkumpul di bagian tersebut sehingga diskontinuitas tersebut dapat terlihat jelas.

Diskontinuitas tersebut akan menjadi magnet akibat bocornya fluks magnet dimana garis gaya magnet yang lurus berubah akibat adanya diskontinuitas tersebut. Hal tersebut membentuk kutub utara-selatan dalam skala kecil pada 2 sisi diskontinuitas akibat garis gaya keluar dari permukaan.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

Medan magnet dapat ditimbulkan oleh arus searah (DC), atau arus bolak balik (AC), oleh *yoke*, batang, dan *coil*. Diskontinuitas dibawah permukaan dapat dideteksi dengan baik oleh arus searah (DC). (Lovejoy, 1993)

b) *Ultrasonic Inspection* :

Pada pengujian ini, digunakan gelombang ultrasonik yang merambat melalui benda uji. Adanya cacat (diskontinuitas) di dalam (seperti *crack*) mengganggu rambatan gelombang dan membalikkan sebagian kecil gelombang ultrasonik besar gelombang yang dikembalikan serta waktu yang diperlukan untuk membalikkan gelombang menandai keberadaan dan lokasi adanya diskontinuitas pada benda kerja.

Gelombang ultrasonik dihasilkan oleh *transducer* (dapat disebut *search unit* atau *probe*), yang ada dalam beberapa bentuk dan tipe. *Transducer* bekerja dengan prinsip *piezoelektrik* menggunakan material seperti *Quartz*, Lithium Sulfat, atau beberapa jenis keramik lain. Mayoritas inspeksi menggunakan gelombang antara 1 hingga 25 MHz. Kuplan (*couplant*) digunakan untuk memancarkan gelombang ultrasonik dari *transducer* menuju benda uji. Kuplan yang digunakan umumnya antara lain air, oli, gliserin, atau pelumas (gemuk).

Inspeksi ultrasonik memiliki peneterasi dan sensitifitas yang tinggi. Metode ini dapat digunakan dari berbagai arah untuk mendeteksi adanya cacat pada benda kerja besar. Metode ini membutuhkan orang ahli untuk menjalankan inspeksi dan menginterpretasikan hasil secara tepat. (Shull, 2002)

2.11 Penelitian sebelumnya

Penelitian terhadap proses multiple repair welding dilakukan terhadap material pipa ASTM A106 GR.B SCH 80. Penelitian dilakukan untuk melihat pengaruh dari multiple reapiir welding terhadap properties material, hal ini dibuktikan dengan



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

pengujian mekanik uji kekerasan Vickers dan uji tarik. Untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada material dilakukan juga uji radiografi dan uji struktur mikro sebagai pembandingan hasil pengujian mekanik. Dari penelitian sebelumnya menggunakan 4 bauh sampel yang dilakukan pengelasan, engan sampel 1 tanpa repair, sampel 2 dengan repair 1 kali, sampel 3 dengan repair 2 kali dan sampel 4 dengan repair 3 kali. Didapatkan hasil dari pengujian uji tarik bahwa nilai ultimate tensile strength dari sampel 1 hingga 4 berturut-turut adalah sebesar 54.036 Kgf/mm², 53.779 Kgf/mm², 53.756 Kgf/mm², dan 53.727 Kgf/mm². disimpulkan semakin banyak repair yang dilakukan nilai UTS komponen semakin menurun, namun dalam penelitian bahwa nilai uts dari weld metal masih lebih besar dari base metal.

Pada pengujian struktur mikro tampak pada daerah weld metal terdapat kristalisasi antara ferit dan perlit. Di weld metal terdapat 76.3% ferrite dan 23.7% perlite, di daerah HAZ terdapat 27.83% ferrite dan 72.15% perlite, sedangkan untuk base metal terdapat 72.63% ferrite dan 27.32% perlite. Struktur mikro dari base metal tidak berubah karena pada proses pengelasan ini, daerah base metal tidak mengalami efek panas yang dapat merubah struktur mikronya. Prosentase ferrite dan perlitenya dari foto mikro diatas sebagai berikut : weld metal terdapat 76.88% ferrite dan 23.12% perlite, di daerah HAZ terdapat 10.32% ferrite dan 89.68% perlite, sedangkan untuk base metal terdapat 46.41% ferrite dan 53.59% perlite. Terjadi penambahan presentase perlite yang sangat signifikan dan presentase ferrit dan perlite pada base metal hampir sama hal ini diakibatkan input panas yang diterima pada saat gouging dan pada saat pengelasan ulang. Prosentase ferrite dan perlite dari foto mikro diatas sebagai berikut : weld metal terdapat 81.34% ferrite dan 18.66% perlite, di daerah HAZ terdapat 7.86% ferrite dan 92.14% perlite, sedangkan untuk base metal terdapat 53.73% ferrite dan 46.27% perlite. Terjadi penambahan presentase ferrite yang sangat signifikan dan penurunan presentase perlite



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

pada weld metal, HAZ dan base metal, hal ini diakibatkan input panas yang diterima pada saat gouging dan pada saat pengelasan ulang sebanyak 2 kali. Prosentase ferrite dan perlitenya dari foto mikro diatas sebagai berikut : weld metal terdapat 82.59% ferrite dan 17.41% perlite, di daerah HAZ terdapat 6.38% ferrite dan 93.62% perlite, sedangkan untuk base metal terdapat 47.00% ferrite dan 53.00% perlite. Tidak terjadi penambahan presentase ferrite dan perlite yang sangat signifikan dan presentase ferrit dan perlite pada base metal hampir sama hal ini diakibatkan input panas yang diterima pada saat gouging dan pada saat pengelasan ulang sebanyak 3 kali.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



weld



HAZ



Base Metal

Gambar 2.7 hasil struktur mikro specimen pengelasan tanpa
Repair (warachi, P.Dipo. 2010)



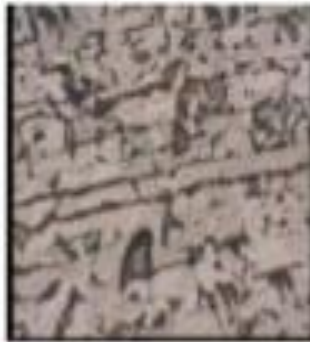
Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



weld



HAZ



Base Metal

Gambar 2.8 hasil struktur mikro specimen pengelasan *Repair 1* kali (warachi, P.Dipo. 2010)



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



weld



HAZ

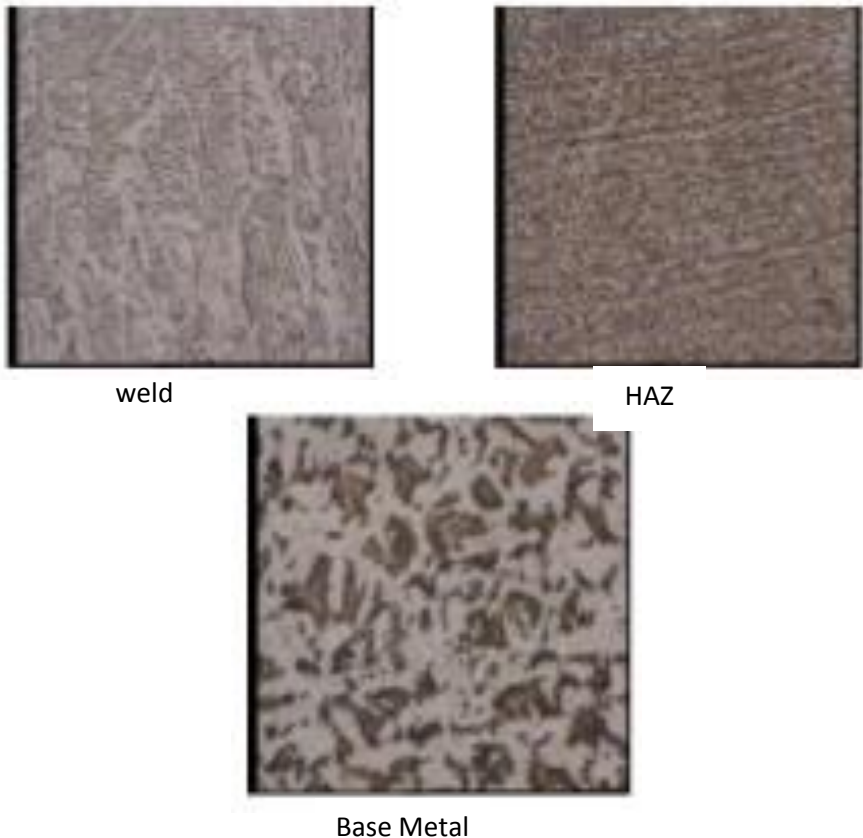


Base Metal

Gambar 2.9 hasil struktur mikro specimen pengelasan *Repair 2* kali (warachi, P.Dipo. 2010)



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



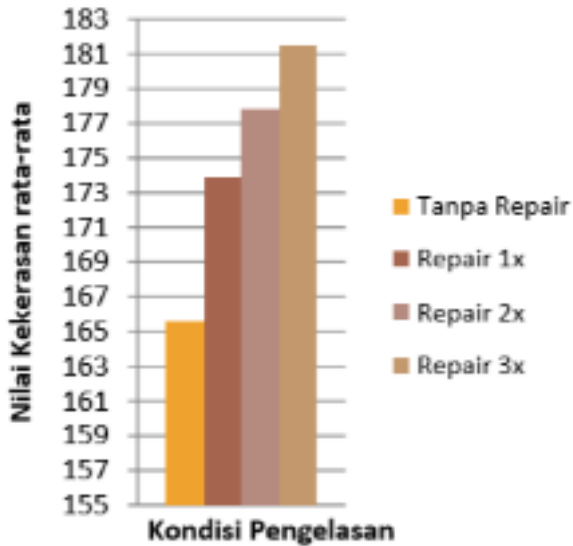
Gambar 2.10 hasil struktur mikro specimen pengelasan *Repair 3* kali (warachi, P.Dipo. 2010)

Dari pengujian kekerasan yang telah dilakukan didapatkan nilai kekerasan (Hv2) tertinggi sampai terendah adalah Pengelasan Tanpa Repair < Repair 1x < Repair 2x < Repair 3x. Sedangkan nilai kekerasan tertinggi ada pada pengelasan dengan Repair 3x. Dari distribusi nilai kekerasan diatas terlihat bahwa nilai kekerasan



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

pada spesimen yang di Tanpa Repair mempunyai harga paling rendah dibandingkan dengan spesimen yang di las dan direpair. Hal ini dikarenakan semakin tinggi input panas yang diterima maka material akan semakin keras. (Wararchi, P. Dipo. 2010)



Gambar 2.11 Distribusi kekerasan rata-rata (Wararchi, P. Dipo. 2010).



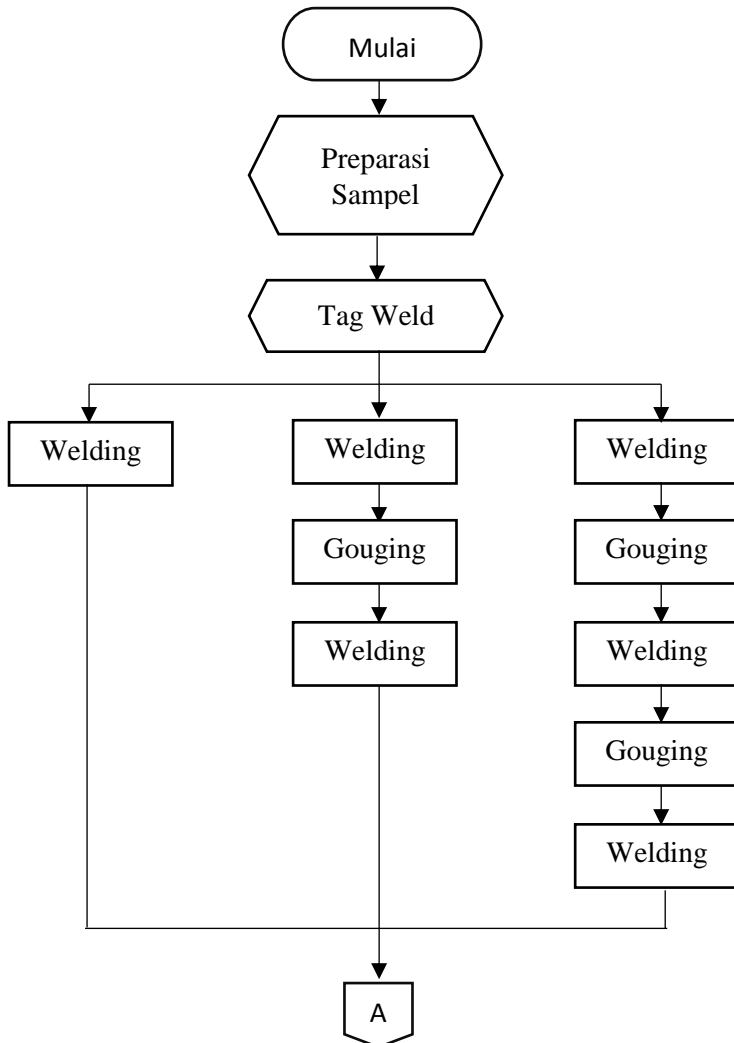
Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

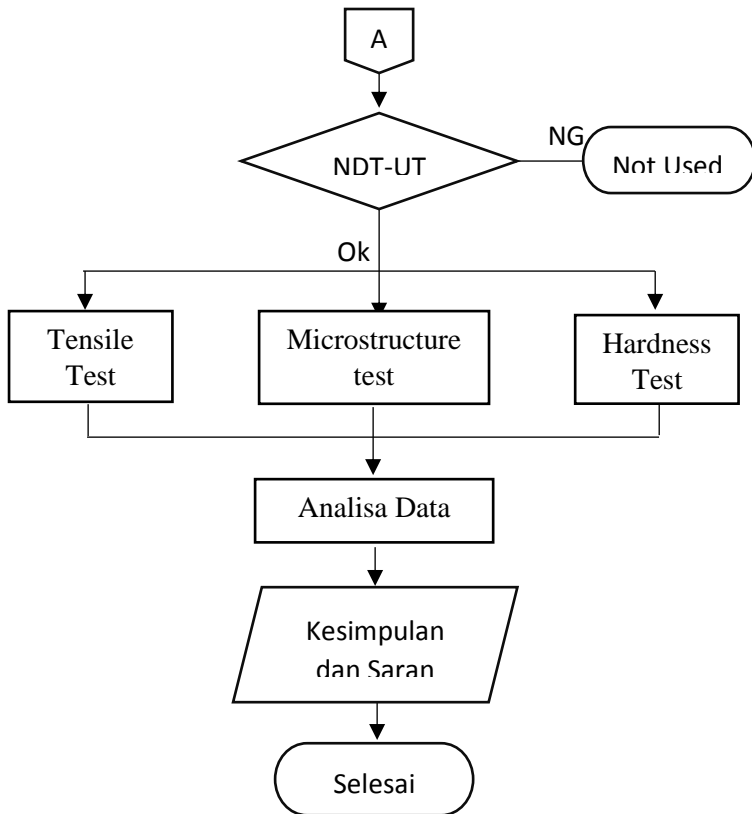
(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PERCOBAAN

3.1 Diagram Alir Percobaan





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Baja GS-32

Baja GS-32 yang digunakan berbentuk Q-block yang didapatkan dari proses pengecoran logam yang kemudian



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

dipotong-potong menjadi pelat, kemudian nantinya akan dilas yang diperoleh dari PT. Komatsu Indonesia Cilincing, Jakarta.



Gambar 3.2 Cetakan bentuk Q-Block dan proses pengecoran baja GS-32 bentuk Q-Block

2. Welding Wire KISWEL K-81TB2/AWS A5.29

kawat las yang digunakan adalah KISWEL K-81TB2 ukuran diameter 1,2mm yang merupakan kawat las spesifikasi AWS A5.29 tipe flux cored arc welding wire yang cocok digunakan untuk material carbon steel yang pada umumnya sangat mudah terkena Hydrogen Induced Cracking (HIC) Karena kawat las jenis ini merupakan kawat las tipe low hydrogen welding wire seperti pada gambar 3.3.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



Welding positions



Polarity & shielding gas

- CO₂: 100% CO₂ (15~25ℓ/min)
- DCEP (DC+)

Typical chemical composition of all-weld metal (%)

Shielding gas	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
CO ₂	0.05	0.44	1.08	0.008	0.009	1.25	0.53

Typical mechanical properties of all-weld metal

	Y.S (MPa)	T.S (MPa)	El. (%)	PWHT
AWS A5.29	min. 470	550~690	min. 19	
EN ISO 17634-B	min. 460	550~740	min. 17	
Example (CO ₂)	531	600	25	690°Cx1Hr

**Gambar 3.3 Data Welding Wire KISWEL K-81TB2/AWS
A5.29**

3. Larutan Etsa

Dalam prosedur metalografi, ada tahapan yang disebut “etching”, tahapan ini dilakukan dengan memberika larutan etsa kepada spesimen sesuai dengan metode dan waktu yang ditentukan. Proses yang terjadi pada etching



ini yaitu penyerangan/pengikisan batas butir secara selektif dan terkendali, sehingga struktur yang akan diamati terlihat dengan jelas dan tajam. Jika tidak memperhatikan metode yang tepat serta lamanya waktu kontak dengan larutan maka biasanya spesimen akan “gosong”, kesalahan dalam memilih larutan juga menyebabkan batas butir tidak akan tampak pada mikroskop logam ketika kita amati, maka sebelum melakukan proses ini tentunya kita harus mengetahui jenis larutan dan metode yang tepat. Larutan etsa yang digunakan adalah larutan Nital dengan Komposisi HNO_3 maksimal 5ml dan Alkohol 95% sebanyak 100ml.

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Mesin Las GMAW

Mesin las GMAW digunakan untuk menggabungkan specimen dan melakukan repair berulang pada material menggunakan Arus sebesar 250-300A dan tegangan sebesar 32-35V.



Gambar 3.4 mesin Las Gas Metal Arc Welding

2. Mesin Uji tarik

Digunakan untuk melakukan pengujian tarik guna mengukur properties material seperti ketangguhan, keuletan, dan nilai Ultimate Tensile Strenght. Alat uji tarik memiliki kapasitas beban hingga 5 ton dan pengujian dilakukan di Departemen Teknik Sipil FTSP-ITS.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



Gambar 3.5 mesin Uji Tarik.

3. Mesin Uji Hardness

Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari specimen setelah dilakukan pengelasan dan repair setelah pengelasan. Alat uji kekerasan ini menggunakan indenter berlian sebagai alat untuk memberikan indentasi pada material dan kemudian memberikan dampak kedalaman yang nantinya digunakan dalam perhitungan otomatis pada computer untuk memberikan data nilai kekerasan dari material. Menggunakan alat uji ini cukup menggunakan analog untuk menggeser posisi indentasi sehingga posisi yang diinginkan dapat presisi.



Gambar 3.6 Alat Uji kekerasan Vickers

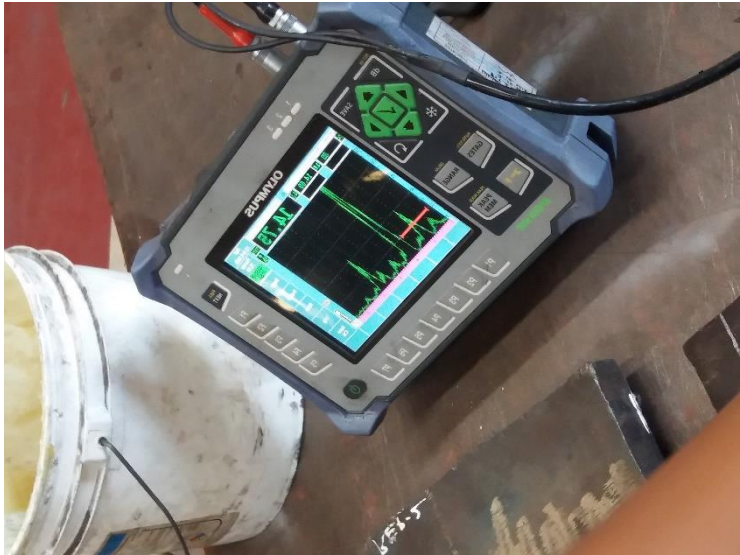
4. Mesin NDT Ultrasonic

Digunakan untuk mengidentifikasi cacat yang terdapat di dalam material hasil pengelasan 20 mm dibawah permukaan logam menggunakan gelombang ultrasonic yang ditembakkan pada material kemudian gelombang tersebut ditangkap oleh receiver gelombang balik sebagai indikasi adanya cacat. Menggunakan gemuk sebagai alat bantu sehingga gelombang yang ditangkap tidak kacau akibat kekasaran permukaan benda uji. Alat uji ultrasonic yang digunakan menggunakan *probe angle* sehingga



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

dapat melakukan Scanning cacat material pada bagian yang sulit atau permukaan yang tidak rata dengan melakukan pada bagian yang lebih rata dan memantulkan gelombang ultrasonic ke bagian yang diinginkan.



Gambar 3.7 Alat Uji ultrasonic NDT

5. Mikroskop Optik

Digunakan untuk melihat struktur mikro yang terbentuk setelah hasil pengelasan dan membandingkan struktur mikro pada specimen yang dilakukan pengelasan tanpa repair dan yang dilakukan repair welding.



Gambar 3.8 Mikroskop Optik.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel bebas yang akan digunakan pada penelitian ini adalah Baja GS-32 yang di las menggunakan mesin las GMAW menggunakan welding wire KISWEL K-81TB2 dengan variable terikat adalah jumlah repair yang dilakukan setelah proses pengelasan yang pertama. Pengukuran dilakukan terhadap pengerjaan repair 1 kali, repair 2 kali, repair 3 kali.

3.5 Prosedur Penelitian

Untuk menghasilkan hasil penelitian yang sesuai dengan harapan, maka penelitian ini memiliki beberapa tahap prosedur yang dilakukan untuk menciptakan specimen pengelasan yang akan digunakan untuk pengujian struktur



mikro, pengujian struktur makro, pengujian tarik, pengujian kekerasan.

1. Pengecoran Logam GS-32

Material yang digunakan pada penelitian merupakan baja tipe GS-32 yang didapatkan melalui proses pengecoran yang kemudian di normalizing, quenching kemudian tempering. Pertama-tama ialah membuat cetakan seperti pada gambar 3.9 cetakan berbentuk Q-block yang biasa digunakan untuk membuat benda uji hasil pengecoran.



Gambar 3.9 cetakan pasir Q-Block untuk material GS-32



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

Setelah membuat cetakan kemudian meleburkan logam. Setelah logam yang dilebur dicampur dengan alloy sehingga komposisi sesuai dengan standar material GS-32 lalu menuangkannya pada cetakan seperti pada gambar 3.10



Gambar 3.10 proses Tapping molten metal

Setelah material mengeras lalu cetakan dilepas dengan metode shaking off kemudian material dimasukan ke dalam mesin Normalising dilanjutkan dengan quenching tempering menggunakan mesin heat treatment gambar 3.11



Gambar 3.11 Mesin Heat Treatment Normalising dan Quenching

2. Penentuan Parameter Las

Penentuan parameter las yang sesuai dengan peralatan las dan material yang akan dilas, maka dibutuhkan parameter yang sesuai. Parameter las yang digunakan pada penelitian ialah sebagai berikut

Tabel 3.1 Parameter Las Penelitian

Polarity	Shielding Gas	Travel Speed	Current	Voltage
DCEP	CO2 100%	10,5 mm/s Max	220-280 A	28-31 V



3. Preparasi sampel las

Proses perasai yang dilakukan pada material untuk disiapkan sebelum proses pengelasan adalah memotong material Q-block menjadi lembaran plat seperti pada gambar 3.12 dengan ketebalan rata-rata 25mm dan melakukan champering atau pembuatan siku untuk dijadikan groove pengelasan. Champering dilakukan menggunakan proses flame cutting dengan sudut champer groove 35° seperti pada gambar 3.13 lalu menggerinda bagian bawah seperti pada gambar 3.14 sehingga terbentuk root face setinggi 3mm seperti pada gambar 3.15.



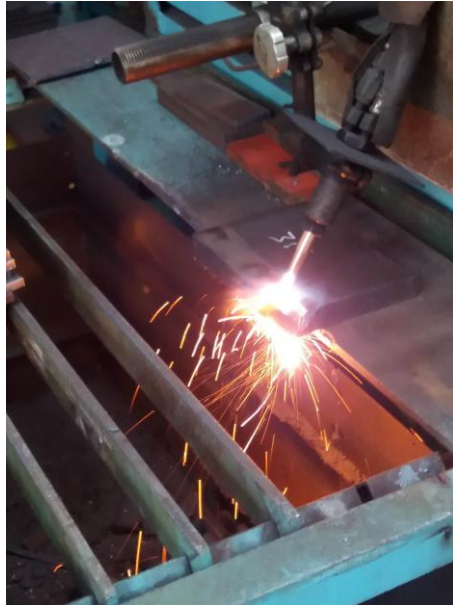
Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



Gambar 3.12 Proses pemotongan Q-block GS-32
Menggunakan gergaji



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



Gambar 3.13 proses champering dengan sudut 35°



Gambar 3.14 Proses gerinda pembuatan root face.



Gambar 3.15 Bentuk Groove specimen lasan

4. Pengelasan

Proses pengelasan menggunakan alat las GMAW dengan elektroda kawat dengan diameter 1,2 mm. pengelasan dilakukan menggunakan arus anatar 250-300A dan tegangan antara 32-35V. pelat dibentuk groove dengan sudut 70° dengan root face 3mm kemudain benda kerja disetting sehingga mendapatkan rrot gap sebesar 2mm. pengelasan dikerjakan secara fillet karena material tebal, sehingga pada proses pengelasan membutuhkan 6 layer pengelasan. Proses pengerjaan las dilakukan sesuai prosedur yang sering digunakan perusahaan pada material GS-32 Idler PC3000 agar penelitian sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Pada gambar 3.15 merupakan proses pengerjaan las hasil las layer awal dan gambar 3.16 merupakan proses pengelasan..



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



Gambar 3.16 Hasil lasan layer pertama



Gambar 3.17 Proses pengerjaan las



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

Pada hasil pengelasan didapatkan perhitungan Heat Input menggunakan rumus 3.1 pada setiap proses pengelasan dijelaskan pada table 3.2 berikut

$$H = \frac{f.V.I}{TS.1000} \quad (3.1)$$

H = Heat Input (kJ/mm)

V = Tegangan (volt)

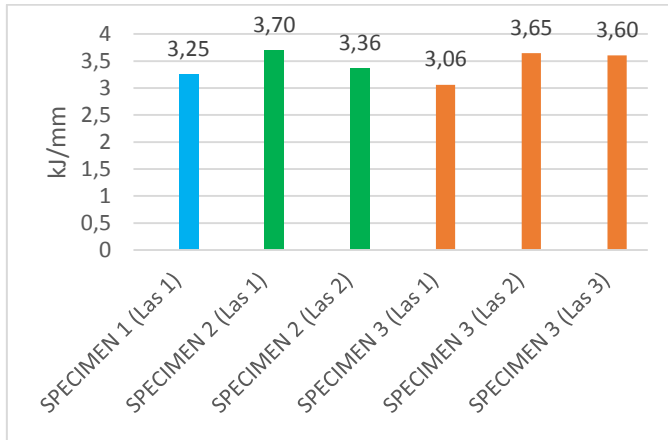
I = Arus (ampere)

TS = Trasvel Speed (mm/s)

F = Efisiensi Las (GMAW=0,8)

Tabel 3.2 Perhitungan Heat Input pada Setiap Layer

SAMPEL	Heat Input (kJ/mm)						Avg. Heat Input
SPECIMEN 1 (Las 1)	2,13	2,72	3,11	3,49	3,82	4,25	3,25
SPECIMEN 2 (Las 1)	2,52	2,89	3,50	4,23	4,34	4,65	3,69
SPECIMEN 2 (Las 2)	2,43	2,94	3,36	3,87	4,20		3,36
SPECIMEN 3 (Las 1)	2,26	2,68	3,15	3,58			2,92
SPECIMEN 3 (Las 2)	2,49	2,89	3,40	3,76	4,32	4,62	3,58
SPECIMEN 3 (Las 3)	2,22	2,84	3,55	3,81	4,32	4,67	3,57



Grafik 3.18 Nilai heat input pada tiap proses pengelasan rata-rata

3.6 Pengujian

Berikut merupakan pengujian yang dilakukan pada penelitian ini, antara lain:

1. Pengujian Tarik

Kekuatan tarik merupakan sifat mekanik logam yang penting. Terutama untuk perencanaan konstruksi maupun pengerjaan logam tersebut. Kekuatan tarik suatu bahan dapat diketahui dengan menguji tarik pada bahan yang bersangkutan. Dari hasil pengujian tarik tersebut dapat diketahui pula sifat-sifat yang lain, seperti: perpanjangan, reduksi penampang, dan sebagainya. Selama penarikan setiap saat dicatat dengan grafik yang tersedia pada mesin tarik, besarnya gaya tarik yang bekerja dan besarnya pertambahan panjang yang terjadi akibat gaya tarik tersebut. Data yang diperoleh dari mesin tarik biasanya dinyatakan dengan grafik beban– pertambahan panjang (grafik $P - \Delta L$).

2. Pengujian Kekerasan Vickers



Pengujian kekerasan Vickers dilakukan berdasarkan standart ASTM E92. Pada pengukuran kekerasan menurut Vickers suatu benda penekan intan dengan sudut 136° , ditekan kedalam bahan dengan gaya F tertentu selama waktu tertentu. Setelah piramida diangkat diagonal d bekas tekanan diukur. Kekerasan Vickers dapat diperoleh dengan membagi gaya pada luas bekas tekanan berbentuk piramida.

3. Ultrasonic Inspection

Pada pengujian ini, digunakan gelombang ultrasonik yang merambat melalui benda uji. Adanya cacat (diskontinuitas) di dalam (seperti *crack*) mengganggu rambatan gelombang dan membalikkan sebagian kecil gelombang ultrasonik besar gelombang yang dikembalikan serta waktu yang diperlukan untuk membalikkan gelombang menandai keberadaan dan lokasi adanya diskontinuitas pada benda kerja.

Gelombang ultrasonik dihasilkan oleh *transducer* (dapat disebut *search unit* atau *probe*), yang ada dalam beberapa bentuk dan tipe. *Transducer* bekerja dengan prinsip *piezoelektrik* menggunakan material seperti *Quartz*, Lithium Sulfat, atau beberapa jenis keramik lain. Mayoritas inspeksi menggunakan gelombang antara 1 hingga 25 MHz. Kuplan (*couplant*) digunakan untuk memancarkan gelombang ultrasonik dari *transducer* menuju benda uji. Kuplan yang digunakan umumnya antara lain air, oli, gliserin, atau pelumas (gemuk).

Inspeksi ultrasonik memiliki penetrasi dan sensitifitas yang tinggi. Metode ini dapat digunakan dari berbagai arah untuk mendeteksi adanya cacat pada benda kerja besar. Metode ini membutuhkan orang ahli untuk menjalankan inspeksi dan menginterpretasikan hasil secara tepat.



4. Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk membandingkan kekuatan material setelah pengujian mekanik dengan struktur yang terbentuk akibat proses pengelasan pada 4 sample yang diuji. Menggunakan mikroskop optik untuk melihat struktur mikro setelah dilakukan proses etching pada sample menggunakan larutan nital yang terdiri dari larutan HNO_3 dan alcohol 95% masing-masing sebanyak 5ml dan 100ml.



3.7 Rancangan penelitian

Tabel 3.3 Rancangan Penelitian

Process	Sample 1	Sample 2	Sample 3
	Pengelasan 1	Pengelasan 2	Pengelasan 3
Welding process	•	•	•
gouging		•	•
repair weld		•	•
gouging			•
repair weld			•
Ultrasonic test	•	•	•
Hardness test	•	•	•
tensile test	•	•	•
metallography test	•	•	•



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

(halaman ini sengaja dikosongkan)

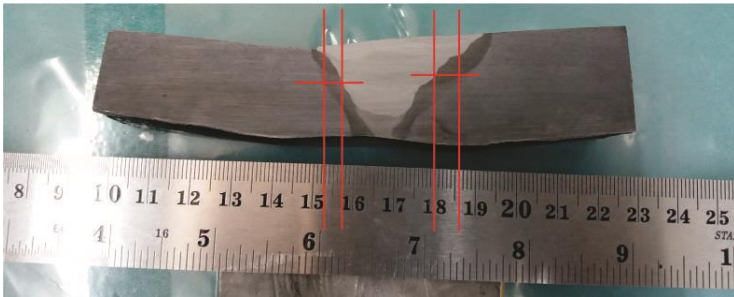
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

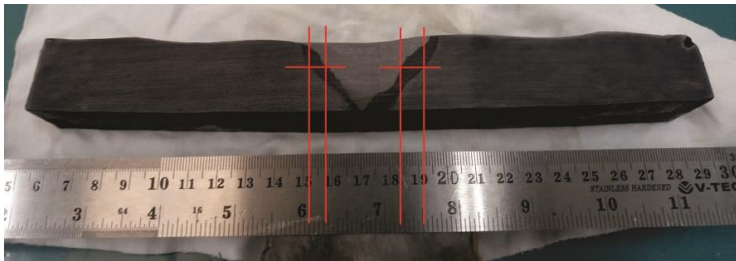
4.1. Hasil Pengujian

4.1.1 Pengujian Struktur Makro

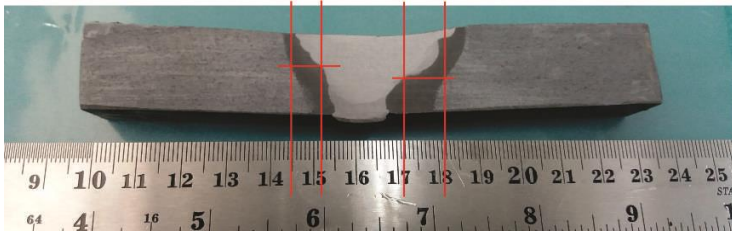
Pengujian struktur makro dilakukan untuk mengamati bagian weld metal, HAZ dan base metal. Pengujian dilakukan menggunakan etsa mikro untuk baja karbon, yaitu Nital.



Gambar 4.1 Hasil Pengujian Struktur Makro Spesimen 1



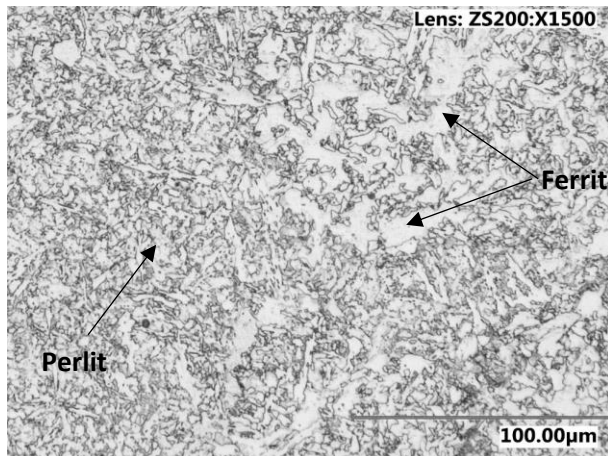
Gambar 4.2 Hasil Pengujian Struktur Makro Spesimen 2



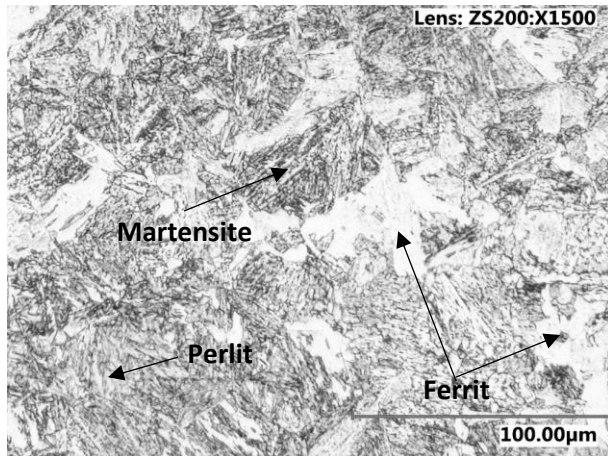
Gambar 4.3 Hasil Pengujian Struktur Makro Spesimen 3

4.1.2 Pengujian Struktur Mikro

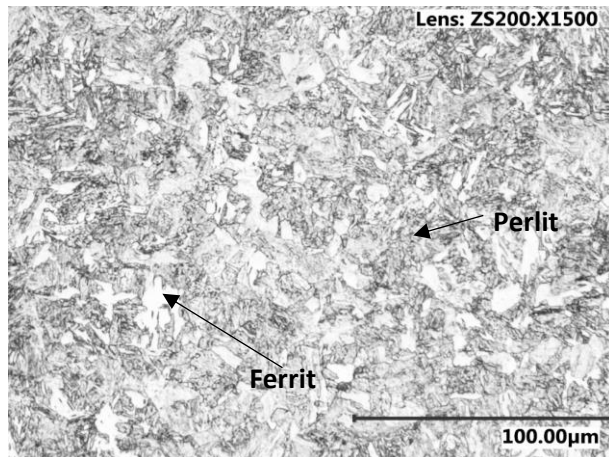
Pengujian Struktur mikro dilakukan menggunakan specimen yang sebelumnya digunakan untuk pengujian struktur makro menggunakan larutan etsa Nital.



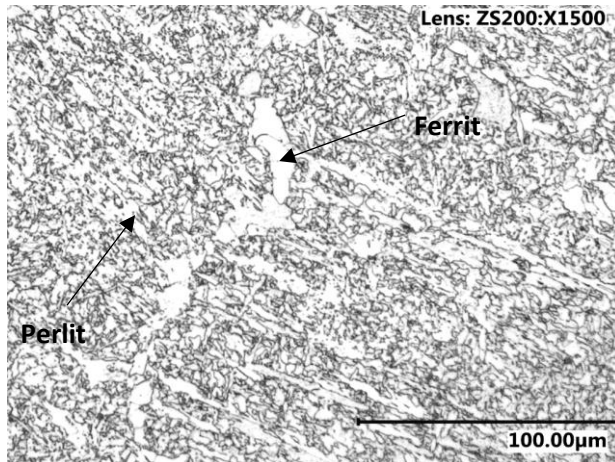
Gambar 4.4 Struktur Mikro Spesimen dengan pengelasan 1 kali pada bagian Weld Metal perbesaran 1500X



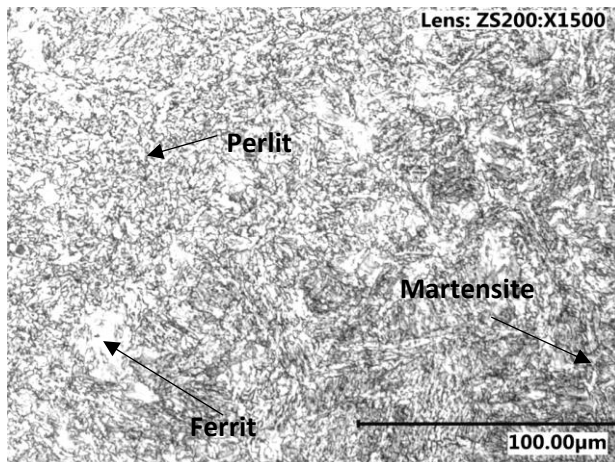
Gambar 4.5 Struktur Mikro Spesimen dengan pengelasan 1 kali pada bagian HAZ perbesaran 1500X



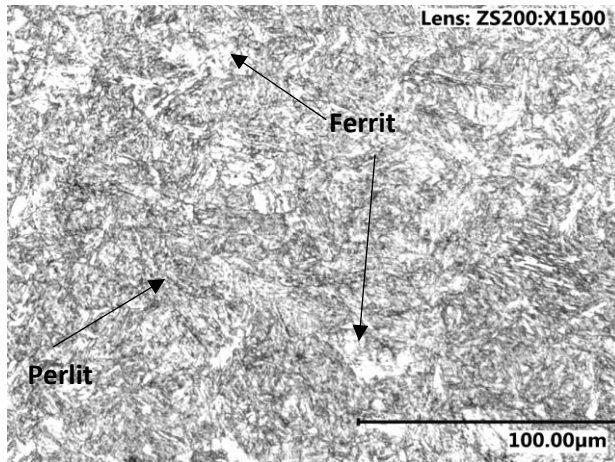
Gambar 4.6 Struktur Mikro Spesimen dengan pengelasan 1 kali pada bagian Base Metal perbesaran 1500X



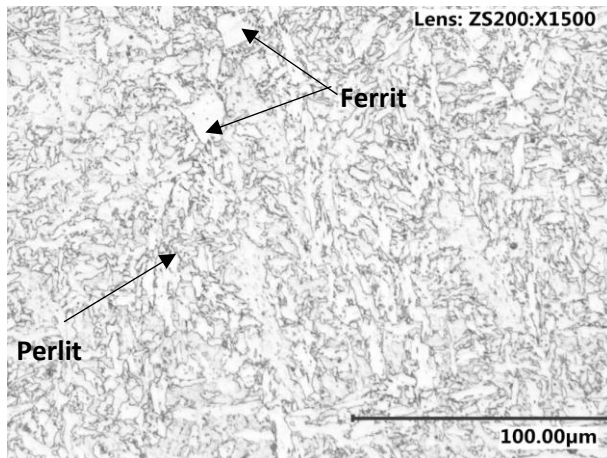
Gambar 4.7 Struktur Mikro Spesimen dengan pengelasan 2 kali pada bagian Weld Metal perbesaran 1500X



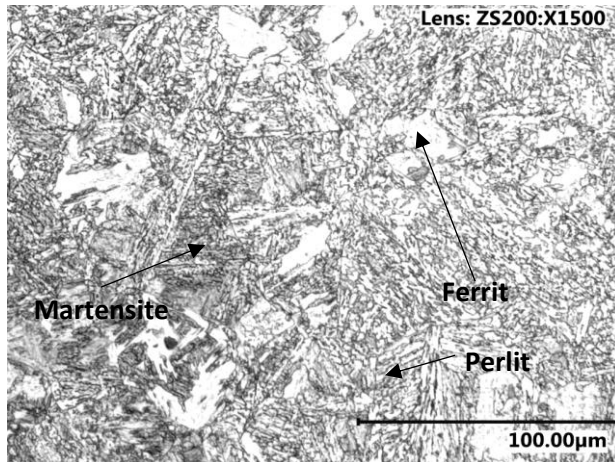
Gambar 4.8 Struktur Mikro Spesimen dengan pengelasan 2 kali pada bagian HAZ perbesaran 1500X



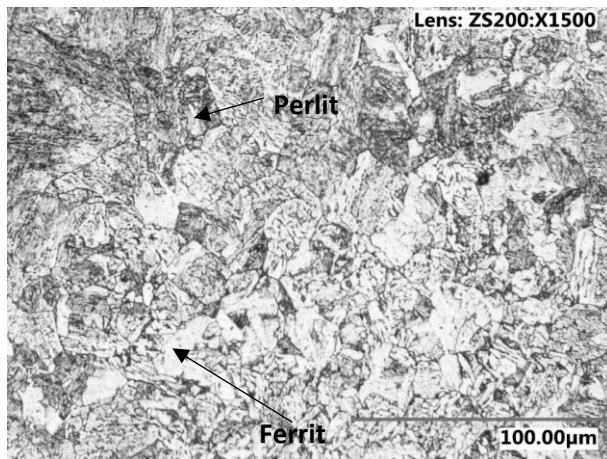
Gambar 4.9 Struktur Mikro Spesimen dengan pengelasan 2 kali pada bagian Base Metal perbesaran 1500X



Gambar 4.10 Struktur Mikro Spesimen dengan pengelasan 3 kali pada bagian Weld Metal perbesaran 1500X



Gambar 4.11 Struktur Mikro Spesimen dengan pengelasan 3 kali pada bagian HAZ perbesaran 1500X

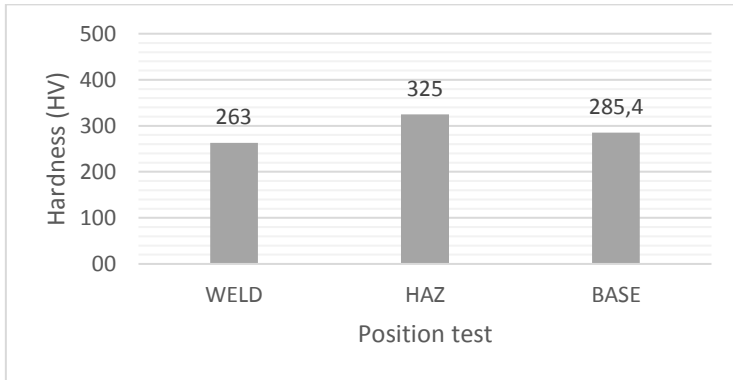


Gambar 4.12 Struktur Mikro Spesimen dengan pengelasan 3 kali pada bagian Base Metal perbesaran 1500X

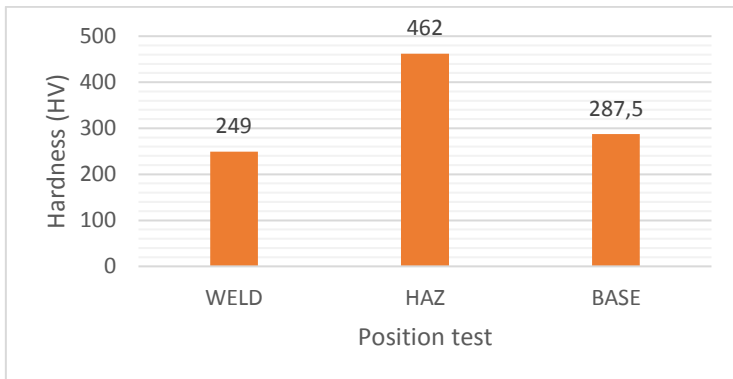


4.1.3 Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan menggunakan alat uji kekerasan Vickers diujikan pada 3 bagian hasil lasan, yaitu pada bagian weld metal, HAZ dan base metal.



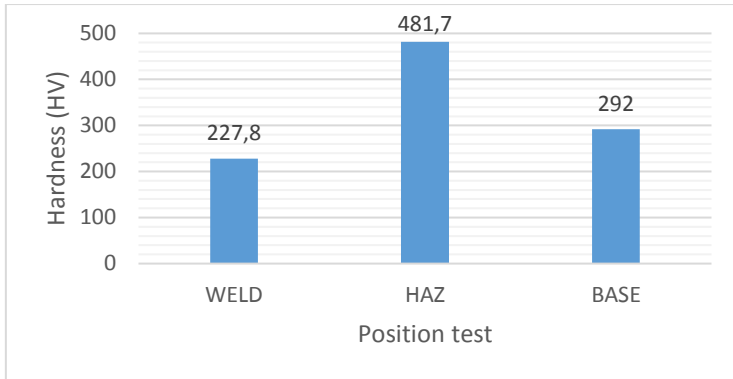
Gambar 4.13 Data distribusi rata-rata kekerasan pada bagian Weld Metal, HAZ dan Base Metal Spesimen 1.



Gambar 4.14 Data distribusi rata-rata kekerasan pada bagian Weld Metal, HAZ dan Base Metal Spesimen 2.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



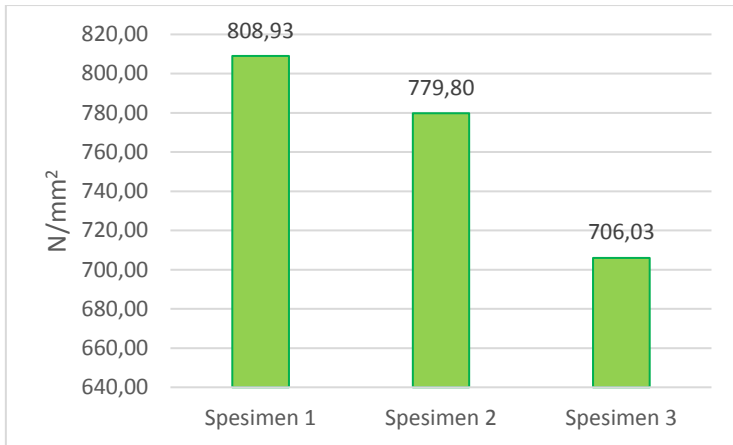
Gambar 4.15 Data distribusi rata-rata kekerasan pada bagian Weld Metal, HAZ dan Base Metal Spesimen 3.

4.1.4 pengujian Tensile

Pengujian tensile dilakukan pada specimen uji tarik menggunakan standar JIZ Z3121 dan diuji tarik di Departemen Teknik Sipil FTSP-ITS dengan pembebanan maksimal 5 ton.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Tarik.

Test Piece	C S A (mm ²)	Yield Point			Ultimate Tensile Strength		
		kg	kg/mm ²	N/mm ²	kg	kg/mm ²	N/mm ²
Spesimen 1	301,5	21452	71,15	697,98	24680	82,46	808,93
Spesimen 2	301,95	19528	64,67	634,41	24002	79,49	779,80
Spesimen 3	301,25	17427	57,85	567,51	21680	71,97	706,03



Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Ultimate Tensile Strength Spesimen.

Tabel 4.2 Data Material Reference

Base Material	Properties		
	Hardness (HV)	UTS (N/mm ²)	Yp (N/mm ²)
GS-32	280	830-980	590

4.2 Pembahasan

Pada hasil pengujian struktur makro didapatkan hasil lebar HAZ pada specimen 1 terbentuk selebar 4 mm ke kiri dan 6 mm ke kanan. hasil pengujian struktur makro specimen 2 didapatkan lebar HAZ terbentuk selebar 6 mm ke kiri dan 8 mm ke kanan. pada pengujian struktur makro untuk specimen 3 didapatkan lebar HAZ ke kiri sebesar 7 mm dan ke kanan sebesar 10 mm. Hasil tersebut didapatkan akibat adanya HAZ yang bertumpuk pada Spesimen 2 dan Spesimen 3 sehingga



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

pada specimen yang mengalami repair welding 2 dan 3 kali memiliki lebar HAZ yang sangat besar. dapat disimpulkan selain faktor heat input, jumlah pengelasan berulang yang dikerjakan pada specimen mempengaruhi lebar HAZ yang akan terbentuk. Semakin besar heat inputnya semakin lebar pula daerah HAZ-nya. Pengelasan berulang juga dapat mengakibatkan HAZ yang sebelumnya terbentuk menjadi bertumpuk dan menjadikannya semakin lebar akibat adanya penambahan panas akibat proses pengelasan selanjutnya.

Hasil pengujian struktur mikro pada bagian weld metal pada setiap specimen tidak jauh berbeda, masing-masing terbentuk fasa ferrit dan pearlite dan memiliki struktur mikro yang halus. Pada bagian weld metal terjadi solidifikasi berbentuk dendritik akibat pendinginan logam lasan yang membeku. Hasil menunjukan arah pertumbuhan grain menuju ketengah akibat pendinginan lebih dahulu terjadi dari pinggir menuju tengah yang membeku paling akhir. Struktur bagian yang pinggir sangat terlihat bentuk dendrit yang mengalami pertumbuhan grain menuju ke tengah, semakin ketengah ukuran butir menjadi lebih halus, dan ini terbentuk pada semua specimen dengan perlakuan berbeda. Hal ini dikarenakan, proses repair tidak menyisakan weld metal hasil pengelasan sebelumnya. Sehingga pengelasan selanjutnya tidak memberikan dampak pada weld metal hanya mempengaruhi struktur dari HAZ dan Base Metal. Pada bagian HAZ banyak ditemukan fasa martensit, jumlah martensit semakin bertambah seiring dengan jumlah repair yang dilakukan pada specimen. Specimen 3 paling banyak ditemukan fasa martensit dibandingkan spesimen 2 dan specimen 1. Hal ini dikarenakan, panas yang didapatkan pada bagian HAZ cukup tinggi dibandingkan dengan base metal dan pendinginan yang cepat karena HAZ cukup jauh dari sumber panas las yang bersumber



pada bagian Weld metal. HAZ yang terbentuk akibat proses pendinginan cepat mengakibatkan mudahnya terbentuk fasa martensit. Dilihat dari carbon equivalent yang tinggi yaitu 0,58 diatas standar rata-rata 0,45 membuktikan bahwa kemampuan hardenability yang tinggi dari material GS-32 mudah membentuk fasa martensit. Hal ini disebabkan oleh kadar Nikel, Krom dan Mangan pada paduan baja ini. Paduan tersebut yang mengakibatkan nilai Carbon Equivalent yang tinggi. Pada proses repair welding terjadi penumpukan HAZ yang sebelumnya terbentuk mengalami proses pemanasan dan pendinginan yang cepat kembali, tentu hal ini mengakibatkan lebar HAZ semakin bertambah kemudian jumlah fasa martensit yang terbentuk menjadi lebih banyak. Hal ini yang terjadi pada specimen 2 dan specimen 3, martensitnya menjadi lebih banyak sehingga nilai kekerasannya lebih tinggi diakibatkan jumlah martensit yang terbentuk.

Hasil pengujian kekerasan menggunakan mesin Vickers hardness yang dilakukan pada 3 titik di setiap specimen yaitu pada bagian Weld metal, HAZ dan base metal. Didapatkan hasil kekerasan untuk specimen 1 pada bagian Weld Metal sebesar 262,7 HV, pada bagian HAZ sebesar 324,9 HV dan pada bagian base metal sebesar 285,4 HV. Untuk specimen 2 didapatkan hasil pengujian kekerasan pada bagian Weld Metal sebesar 249 HV, pada bagian HAZ sebesar 462,2 HV, pada bagian Base Metal sebesar 287,5 HV. Untuk specimen 3 didapatkan pada bagian Weld Metal sebesar 227,8 HV, pada bagian HAZ sebesar 481,7 HV, dan pada bagian Base Metal sebesar 292 HV. Pada bagian HAZ dan pada Base Metal terjadi kenaikan nilai kekerasan, hal ini diakibatkan pada bagian HAZ banyak terbentuk fasa martensit. Semakin banyak repair welding yang dilakukan pada benda kerja mengakibatkan kenaikan nilai kekerasan pada bagian HAZ.



Hal ini terjadi akibat penumpukan HAZ yang terbentuk dari setiap proses repair welding yang dilakukan pada benda kerja. Peningkatan nilai kekerasan terjadi pada bagian HAZ terjadi akibat terbentuknya Martensit. Pada bagian HAZ panas yang didapatkan akibat proses pengelasan tidak sebesar pada bagian Weld Metal namun karena bagian jauh dari sumber panas mengakibatkan terjadi proses pendinginan yang cepat. Panas yang tidak terlalu besar juga cukup untuk mengakibatkan terbentuknya Martensit.

Hasil pengujian tarik specimen 1 terjadi patahan pada bagian *Weld Metal* pada pembebanan 20201,53 Kgf. Hasil pengujian tarik specimen 2 terjadi patahan pada bagian *Weld Metal* pada pembebanan 22774,72 Kgf. . Hasil pengujian tarik specimen 3 terjadi patahan pada bagian *Weld Metal* pada pembebanan 17102,55 Kgf. Pengujian tarik yang dilakukan pada tiap specimen didapatkan nilai ultimate tensile strength (UTS) paling tinggi diperoleh pada specimen 1 dengan nilai 808,89 N/mm² dibandingkan dengan specimen 2 dengan nilai 779,78 N/mm² dan specimen 3 dengan nilai 706,00 N/mm². Pada pengujian didapatkan juga yield point tiap specimen berturut-turut ialah 697,97 N/mm² , 634,42 N/mm² , dan 567,49 N/mm². Nilai UTS yang dihasilkan pada pengujian mewakili nilai kekuatan tarik baja lasan karena patah terjadi pada bagian weld metal. Hal tersebut terjadi karena weld metal memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan dengan base metal. Besar nilai kekuatan tarik tiap specimen dipengaruhi oleh heat input yang didapatkan specimen pada proses pengelasan. Apabila heat input yang diterima oleh specimen tinggi, maka weld metal akan mendapatkan panas yang banyak, sehingga pendinginan yang terjadi akan lebih lambat dibandingkan specimen yang mendapatkan heat input kecil. Seperti pada gambar 3.17 mengenai grafik perhitungan



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

heat input tiap specimen, diperoleh pada specimen 1 memiliki nilai heat input paling kecil dibandingkan dengan specimen 2 dan specimen 3.

Proses pengelasan pada umumnya terjadi perubahan fasa austenite pada logam lasan menjadi fasa ferrit dan perlit. Sedangkan, kelarutan hydrogen pada ferrit lebih rendah dibandingkan pada fasa austenite. Sehingga pada proses pendinginan mengakibatkan hydrogen terdifusi keluar dari fasa austenite setelah berubah menjadi ferrit yang menjadikan hydrogen berpindah ke arah fusion line pengelasan. Rendahnya koefisien difusi hydrogen pada material feritik lebih tinggi dibandingkan pada material austenitic (Sindo Kou, 2003). Rendahnya koefisien difusi hydrogen pada material austenitic menahan hydrogen berdifusi dari HAZ menuju logam induk. Kombinasi dari martensit dan hydrogen ini yang menyebabkan terjadinya Hidrogen induced cracking. Sumber dari Hidrogen itu sendiri dapat disebabkan oleh kelembaban elektroda las, kelembaban ruangan/environment, atau adanya pengotor pada permukaan sambungan las. jika atom hydrogen membentuk molekul pada pori, retakan dan inklusi yang kemudian menghasilkan tekanan dalam/residual stress. Semakin tinggi kekuatan dan kekerasan dari material, maka semakin rentan baja tersebut mengalami keretakan. Baja yang dilas lebih rentan karena proses las menyimpan tegangan sisa serta menghasilkan kekerasan yang tinggi. Semakin banyak repair yang dilakukan akan menjadikan material semakin mudah terjadi kegagalan Hidrogen Induced Cracking yang kemudian mengakibatkan Stress corrosion cracking.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Hasil kekerasan untuk specimen 1 pada bagian Weld Metal sebesar 262,7 HV, pada bagian HAZ sebesar 324,9 HV dan pada bagian base metal sebesar 285,4 HV. Untuk specimen 2 didapatkan hasil pengujian kekerasan pada bagian Weld Metal sebesar 249 HV, pada bagian HAZ sebesar 462,2 HV, pada bagian Base Metal sebesar 287,5 HV. Untuk specimen 3 didapatkan pada bagian Weld Metal sebesar 227,8 HV, pada bagian HAZ sebesar 481,7 HV, dan pada bagian Base Metal sebesar 292 HV.
2. Pengujian tarik yang dilakukan pada tiap specimen didapatkan nilai ultimate tensile strength (UTS) paling tinggi diperoleh pada specimen 1 dengan nilai 808,89 N/mm² dibandingkan dengan specimen 2 dengan nilai 779,78 N/mm² dan specimen 3 dengan nilai 706,00 N/mm².
3. Pada bagian HAZ banyak ditemukan fasa martensit, jumlah martensit semakin bertambah seiring dengan jumlah repair yang dilakukan pada specimen. Hal ini dapat mengakibatkan kegagalan brittle pada material.

5.2 Saran dan Perbaikan

Pada setiap proses welding repair tidak dianjurkan dilakukan lebih dari 2 kali karena dapat mengakibatkan



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

peningkatan kekerasan yang memungkinkan terjadinya kegagalan akibat brittle. Karena, proses repair mengakibatkan terbentuknya HAZ yang semakin lebar dan semakin bertambahnya martensit. Hal tersebut akan meningkatkan kemungkinan kegagalan material akibat getas.

Hasil pengujian tarik menunjukkan ketidaksesuaian kawat las dengan material yang dilas, karena specimen patah pada bagian weld metal. Hal ini menunjukkan kekuatan kawat las lebih rendah dibandingkan material yang dilas. Kawat las perlu diganti menggunakan kawat las dengan kekuatan minimal sama dengan material yang dilas.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 2001. *ASM International. Alloying : Understanding the Basics*. Metals Park. ASM International.
- Avner, Sidney H. 1987. *Introduction to Physical Metallurgy, Second Edition*. Tokyo: McGraw-Hill International Book Company.
- _____. 2001. *AWS Welding Handbook: Material and Application, Part 1*. America: Miami.
- Dieter, George. 1928. *Mechanical Metallurgy*. United Kingdom: McGraw Hill Company.
- Elayaperumal K. 2015. *Corrosion Failure: Theory, Case Study and Solution*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- Griya, Gagah Anggowo. 2016. *Analisa Besarnya Energy Absorb dan Konsentrasi Tegangan Akibat Multiple Repair Welding pada Material Butt Joint Aluminium 5083 – H112 dengan Metode Pengujian Mekanik dan Elemen Hingga*. Surabaya: Teknik Perkapalan FTK ITS.
- Kalpakjian. Serope, dan Steven R. Schmid. 2009. *Manufacturing Engineering and Technology Sixth Edition in SI Units*. New York: Pearson.
- Kou, Sindo. 2003. *Welding Metallurgy Second Edition*. London: Wiley
- Lovejoy, David. 1993. *Magnetic Particle Inspection: A Practical Guide*. UK: Kluwer Academic.
- Shull, Peter J. 2002. *Non Destructive Evaluation: Theory, Techniques, Applications*. Pennsylvania: Marcel Decker.

- Suherman, Wahid. 1999. *Ilmu Logam I*. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin FTI ITS
- Supriyanti, R. 2011. *Analisa Pengaruh Hasil Pengelasan Ulang Menggunakan Metode Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) Terhadap Sifat Mekanik dan Ketahanan Korosi Aluminium 5083*. Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS.
- Tranggono, C. 2011. *Analisa Pengaruh Pengelasan Ulang Aluminium 5083 dengan Metode Gas Metal Arc Welding (GMAW) Terhadap Sifat Mekanik, Struktur Mikro, dan Ketahanan Korosi*. Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS.
- Warachi, Dipo. 2010. *Analisa Pengaruh Multiple Repair Welding pada Material Properties Weld Joint Material Pipa ASTM A 106 GR. B SCH 80*. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS.
- Wulandari, R. 2007. *Analisa Pengaruh Pengelasan Ulang Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Aluminium 5083*. Surabaya: Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Data Uji Kekerasan

Tabel 1 Data Uji Kekerasan Spesimen 1

No	WELD	HAZ	BASE
1	281	292	256
2	250	362	262
3	258	342	258
4	255	311	275
5	265	374,8	267
6	267	361	328
7		284	313
8		265	281
9		332	305
10			309
Rata-rata	262,7	324,9	285,4

Tabel 2 Data Uji Kekerasan Spesimen 2

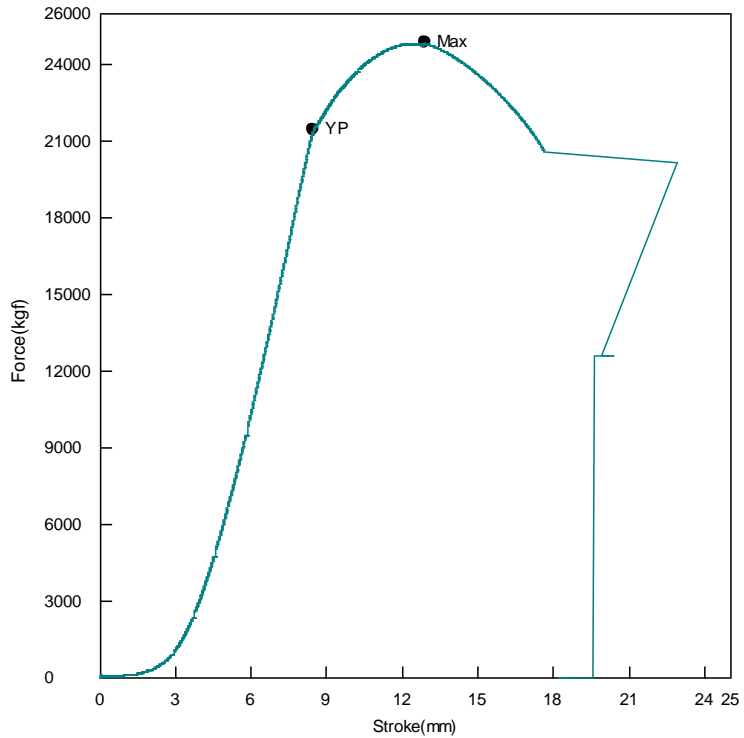
No	WELD	HAZ	BASE
1	258	495	265
2	264	460	257
3	256	555	273
4	236	355	262
5	241	532	283
6	239	496	323
7		557	301
8		356	282
9		441	316
10		574	313
11		378	
12		547	
13		436	
14		289	
Rata-rata	249	462,2	287,5

Tabel 3 Data Uji Kekerasan Spesimen 3

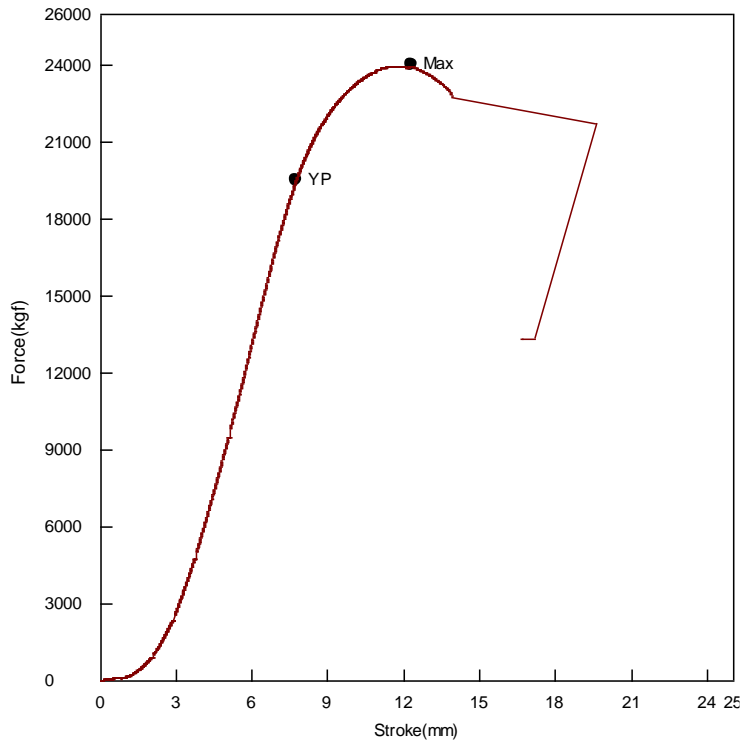
No	WELD	HAZ	BASE
1	245	335,7	459
2	227	460,6	279
3	215	570	266
4	229	394	268
5	223	596,3	311
6		573	264
7		398	276
8		513	259
9		622	250
10		495	288
11		398	
12		384	
13		634	
14		516	
15		389	
16		428	
Rata-rata	227,8	481,7	292

Lampiran 2

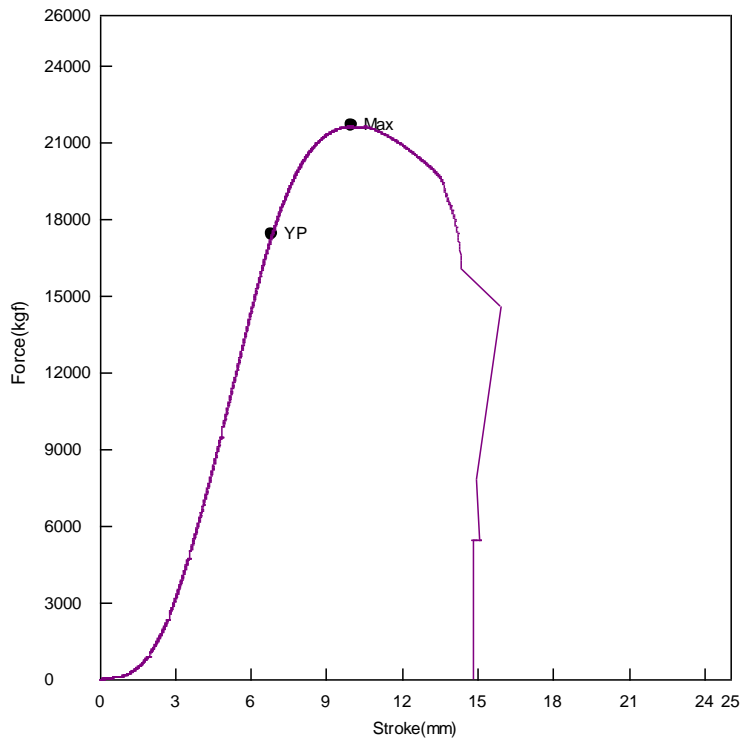
Data Uji Tensile



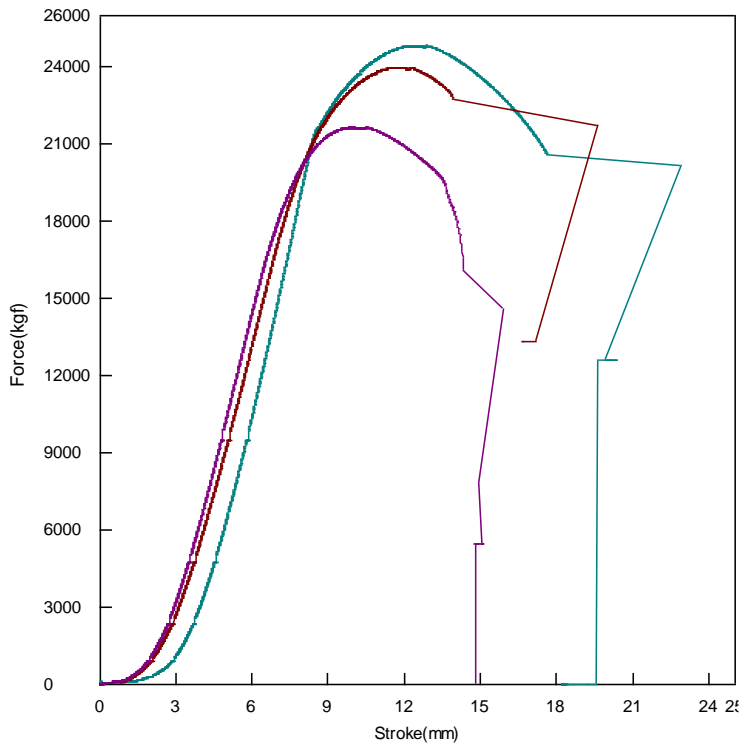
Gambar 1 Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen 1



Gambar 2 Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen 2



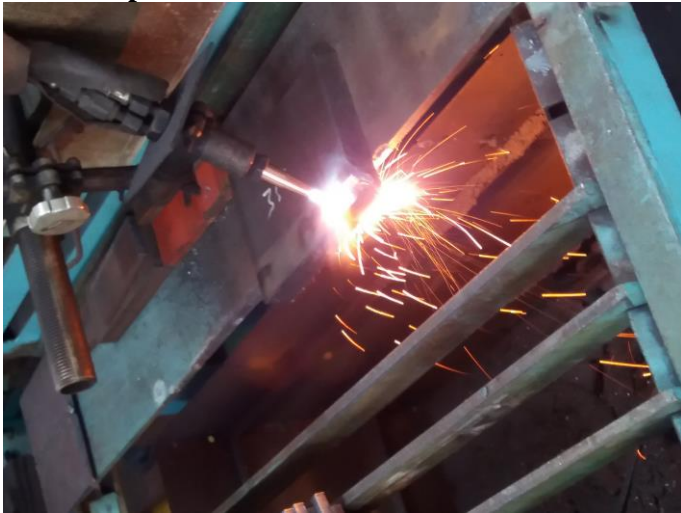
Gambar 3 Grafik Hasil Pengujian Tarik Spesimen 3



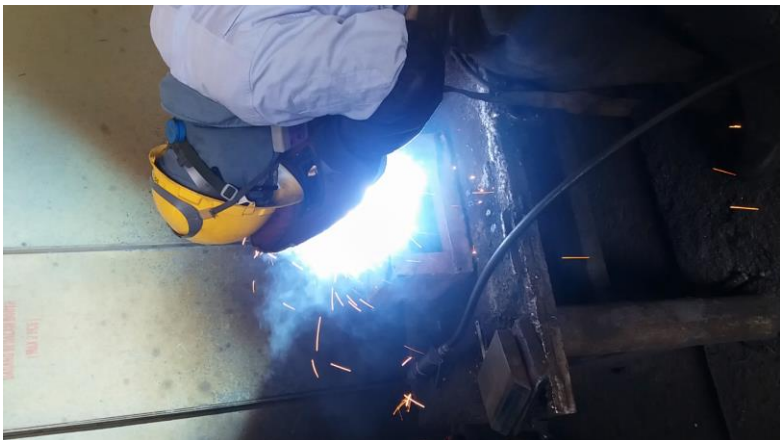
Gambar 4 Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Tarik ketiga Spesimen

Lampiran 3

Dokumentasi penelitian



Gambar 5 Proses Flame Cutting Pembuatan Groove Pengelasan



Gambar 6 Proses Pengelasan Plat Spesimen Menggunakan Mesin Las GMAW



Gambar 7 Proses Gouging



Gambar 8 Proses Pengujian Ultra Sonic



Gambar 9 Hasil Pengujian UT Spesimen 1



Gambar 10 Hasil Pengujian UT Spesimen 2



Gambar 11 Hasil Pengujian UT Spesimen 3



Gambar 11 Patahan Spesimen Uji Tarik

Lampiran 4

Data Proses Pengelasan

Tabel 4 Data Parameter Las

SAMPEL	WELD	VOLT	AMPERE					
			Layer 1	Layer 2	Layer 3	Layer 4	Layer 5	Layer 6
SPECIMEN 1	1	32	250	280	280	280	280	280
SPECIMEN 2	1	35	250	250	280	280	280	280
	2	35	250	250	250	250	250	
SPECIMEN 3	1	32	250	280	280	280		
	2	34	250	280	280	280	280	280
	3	34	240	280	280	280	280	280

Tabel 5. Data Perhitungan Heat Input

SAMPEL	Heat Input (kJ/mm)					
SPECIMEN 1 (Las 1)	2,13	2,72	3,11	3,49	3,82	4,25
SPECIMEN 2 (Las 1)	2,52	2,89	3,5	4,23	4,34	4,65
SPECIMEN 2 (Las 2)	2,43	2,94	3,36	3,87	4,2	0
SPECIMEN 3 (Las 1)	2,26	2,68	3,15	3,58	0	0
SPECIMEN 3 (Las 2)	2,49	2,89	3,4	3,76	4,32	4,62

SPECIMEN 3 (Las 3)	2,22	2,84	3,55	3,81	4,32	4,67
-----------------------	------	------	------	------	------	------

$$\frac{1}{T_p - T_o} = \frac{4,13 \cdot \rho \cdot C \cdot t \cdot Y_z}{H_{net}} + \frac{1}{T_m - T_o}$$

$$T_p = 500$$

$$T_o = 25$$

$$\rho = 7,85 \cdot 10^{-3}$$

$$C = 0,51$$

$$t_1 = 24$$

$$t_2 = 26$$

$$t_3 = 21$$

$$T_m = 1540$$

Tabel 6. Data perhitungan Lebar HAZ

SAMPEL	Lebar HAZ (mm)					
	Layer 1	Layer 2	Layer 3	Layer 4	Layer 5	Layer 6
SPECIMEN 1 (Las 1)	7,52	9,60	10,97	12,32	13,48	15,00
SPECIMEN 2 (Las 1)	8,21	9,41	11,40	13,78	14,14	16,41
SPECIMEN 2 (Las 2)	7,92	9,58	10,95	12,61	13,68	
SPECIMEN 3 (Las 1)	9,11	10,81	12,70	14,44		
SPECIMEN 3 (Las 2)	10,04	11,66	13,71	15,16	17,42	16,30
SPECIMEN 3 (Las 3)	8,95	11,45	14,32	15,37	17,42	16,48

BIODATA PENULIS



Dwiky Okka Tjahjanto lahir di Bekasi, Jawa Barat pada hari Senin, 11 Desember 1995. Penulis merupakan Putra pertama dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Ibnu Nur Tjahjanto dan Ibu Yasni Fefti. Penulis menempuh pendidikan formal di TK An-Nashruruhi Bekasi, SD PABI Bekasi, SMPN 2 Bekasi, SMPN 12 Bogor, SMAN 2 Bogor. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan perguruan tingginya di Departemen Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2013.

Selama berkuliah di ITS, penulis juga aktif di beberapa kegiatan ekstrakurikuler, diantaranya di Unit Kegiatan Mahasiswa Billiard ITS sebagai anggota rangkap pengurus Departemen hubungan luar (2014-2015), Lembaga Minat Bakat ITS sebagai staff Hubungan Masyarakat (2014-2015), Kepala Departemen Hubungan Luar UKM ITS Billiard (2015-2016), Kepala Biro Media Informasi Lembaga Minat Bakat ITS (2015-2016), kepala divisi Tim Pengkaji Hasil Mubes IV bagian KDKM (2016), dan Kepala Departemen Event Lembaga Minat Bakat ITS (2016-2017). Masa perkuliahan penulis diakhiri dengan melakukan penelitian Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Multiple Repair Welding Pada Material Properties Weld Joint Material GS-32 Pada Aplikasi Komponen Alat Berat IDLER PC-3000”.

Pengalaman kerja yang pernah diikuti penulis yaitu kerja praktek di *Bucket Excavator Manufacturing and Inspection* PT.Komatsu Patria Attachment Bekasi pada bulan Agustus 2016. Penulis dapat dihubungi melalui 082352365926 dan email fakhriaulia95@gmail.com.